



TUGAS AKHIR TF 141581

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN
ANTISURGE KOMPRESOR DENGAN METODE
FUZZY GAIN SCHEDULING-PI PADA LP BADAK
GAS KOMPRESOR C-7080 DI VICO INDONESIA,
KALIMANTAN TIMUR**

Pandu Setioning Negoro
2412 100 113

Dosen Pembimbing
Hendra Cordova, S.T, M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT TF 141581

**DESIGN OF COMPRESSOR ANTISURGE
CONTROL SYSTEM BASED ON FUZZY GAIN
SCHEDULING-PI FOR LP BADAQ GAS
COMPRESSOR C-7080 AT VICO INDONESIA,
EAST KALIMANTAN**

Pandu Setioning Negoro
2412 100 113

Supervisor Lecturer
Hendra Cordova, S.T, M.T.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN ANTISURGE
KOMPRESOR DENGAN METODE FUZZY GAIN
SCHEDULING-PI PADA LP BADAK GAS KOMPRESOR
C-7080 DI VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR**

TUGAS AKHIR

Oleh:

PANDU SETIONING NEGORO
NRP: 2412 100 113

Surabaya, 17 Januari 2016

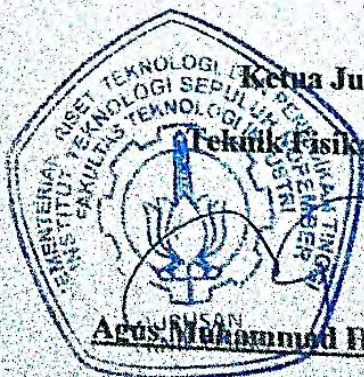
Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing



Hendra Cordova, ST, MT

NIP. 19690530 199412 1 001



Ketua Jurusan

Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhammad Hatta, ST, MSI, Ph.D

NIP. 19780902 200312 1 002

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN ANTISURGE
KOMPRESOR DENGAN METODE FUZZY GAIN
SCHEDULING-PI PADA LP BADAK GAS KOMPRESOR
C-7080 DI VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR**

TUGAS AKHIR



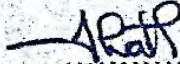


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi Dan Kontrol
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Pandu Setioning Negoro
NRP. 2412 100 113

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Hendra Cordova, ST, MT..........(Pembimbing I)
2. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, PhD..........(Ketua Penguji)
3. Ir. Matradji, M.Sc..........(Penguji I)
4. Andi Rahmadiansah, ST, MT..........(Penguji II)
5. Bagus Tris Atmaja, ST, MT..........(Penguji III)

SURABAYA
Januari, 2016

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN
ANTISURGE KOMPRESOR DENGAN METODE
FUZZY GAIN SCHEDULING PI PADA LP BADAK GAS
KOMPRESOR C-7080, VICO INDONESIA**

Nama : Pandu Setioning Negoro
NRP : 2412 100 113
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Hendra Cordova, ST, MT.

Abstrak

Surge adalah salah satu bentuk kondisi operasi dimana terjadinya ketidakstabilan antara laju aliran dan beda tekanan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada kompresor. Karenanya dirancang suatu pengendalian antisurge pada kompresor. Pengendali PI efektif digunakan pada sistem yang linear tetapi pada kenyataan dilapangan mampu menghadapi surge yang merupakan kejadian nonlinear. Dengan menerapkan pengendali nonlinear dapat meningkatkan kinerja dari sistem antisurge. Perancangan dilakukan dengan pengendali Fuzzy Gain Scheduling PI atau FGS-PI yang merupakan pengendali nonlinear berbasis logika fuzzy. Gain pengendali berubah terhadap perubahan proses yaitu dengan referensi sinyal error dan delta error sehingga dapat diperoleh performansi yang lebih baik dibandingkan pengendali PI yang dijadikan sebagai pembanding. Pemodelan proses kompresor dilakukan dengan metode Autoregressive with exogeneous input. Perancangan pengendali logika fuzzy menggunakan metode fuzzy mamdani dengan fungsi keanggotaan trimf dan tramf. Pada simulasi uji antisurge didapatkan. Waktu tempuh titik operasi dengan FGS-PI dari keadaan surge ke keadaan normal memiliki waktu lebih cepat sebesar 2.48 detik sedangkan pengendali PI memiliki waktu sebesar 3.79 detik

Kata Kunci : Antisurge, FGS-PI, ARX, Mamdani

DESIGN OF COMPRESSOR ANTISURGE CONTROL SYSTEM BASED ON FUZZY GAIN SCHEDULING PI FOR LP BADAK GAS COMPRESSOR C-7080, VICO INDONESIA

Name of Student : Pandu Setioning Negoro
NRP : 2412 100 113
Departement of : Engineering Physic, FTI-ITS
Supervisor Lecturer : Hendra Cordova, ST, MT.

Abstract

Surge is one of operating condition when an unstable process occurred between flow and pressure difference in result of damaging the compressor itself. Because of this problem, it is necessary to design a compressor antisurge control. Conventional control like PI (Proportional and Integral) controller are effective for linear process but in reality from the practical field PI Controller capable for handling surge which a nonlinear process. By designing a nonlinear controller might improve antisurge control system performances. Fuzzy gain scheduling PI controller or FGS – PI is a nonlinear controller based on fuzzy logic. Gain of PI Controller are changed along the change in process with signal references of error and delta error. Application of these system will improve system performance from the response characteristics. Process modelling is done by Autoregressive with exogeneous input. Design of fuzzy logic controller with trimf membership function and tramp membership function. From the results of antisurge simulation, operating point of travel time with FGS-PI controller from surge to normal operating condition has a faster time with 2.48 seconds while PI controller has a time with 3.79 seconds

Keyword : Antisurge, FGS-PI, ARX, Mamdani

PENGANTAR

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Perancangan Sistem Pengendalian Antisurge Kompresor Dengan Metode Fuzzy Gain Scheduling PI pada LP Badak Gas Kompresor C-7080 di VICO Indonesia.”**

Terselesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah membantu, maka pada kesempatan kali ini ijin penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah (Nurul M Berry), Ibu (Murniati) serta kakak - kakak kandung (Agam, Wulan, Dimas, dan Ayu) tercinta yang selalu mendoakan, mendukung serta mengijinkan untuk melaksanakan Tugas Akhir di VICO Indonesia.
2. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, Msi, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Bapak Hendra Cordova, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Andi Rahmadiansah, S.T, MT, selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan dukungan moral kepada penulis
5. Para dosen penguji saat seminar dan sidang Tugas Akhir
6. Seluruh Dosen Teknik Fisika FTI-ITS sebagai media transfer ilmu kepada penulis
7. Segenap Dewan Direksi VICO Indonesia yang telah memberikan ijin Tugas Akhir kepada penulis.
8. Segenap Karyawan *Maintenance* Simon Potter yang telah membantu penulis.
9. Bapak Yudi Irawan selaku Superintendent Bagian *Maintenance* .

10. Bapak Jaenuri, Bapak Giyanto, dan Bapak Edi Purwanto selaku Lead Instrument dan Electric yang telah membantu dan arahan kepada penulis.
11. Bapak Farouk Suhardi dan Bapak Juni Irawan selaku pembimbing Tugas Akhir di departemen *Maintenance* VICO Indonesia Muara Badak, Kalimantan Timur. Terima kasih atas ketersediaan Bapak dalam membimbing.
12. Seluruh teman-teman Teknik Fisika angkatan 2012, terima kasih atas bantuannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih terdapat kekurangan baik dari segi isi, cara penyampaian maupun teknik penulisan sehingga kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang dada. Akhirnya, semoga laporan ini dapat bermanfaat serta menambah pengetahuan dan wawasan baik bagi pembaca maupun penulis sendiri.

Surabaya, 20 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Laporan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 7
2.1. Prinsip Kerja Kompresor	7
2.2. Teori Kompresi.....	8
2.3. Fenomena Terjadinya <i>Surge</i>	9
2.4. Sistem Pengendalian <i>Antisurge</i>	9
2.5 <i>AutoRegressive with Exogeneous Input (ARX)</i>	12
2.6 Fungsi Alih <i>Flow Transmitter</i> dan <i>Control Valve</i>	14
2.6.1 Model Fungsi Alih <i>Flow Transmitter</i>	14
2.6.2 Model Fungsi Alih <i>Control Valve</i>	14
2.7 Respon Transien Sistem	15
2.8 Fuzzy Gain Scheduling-PI	17
2.9 Logika Fuzzy	19
2.9.1 Set Fuzzy	19
2.9.2 Fuzzifikasi	20

2.9.3 Inferensi Logika Fuzzy	22
2.9.4 Pengambilan Keputusan Mamdani	22
2.9.5 Defuzzifikasi.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Alur Penelitian.....	25
3.1.1 Pengambilan Data Masukan dan Keluaran	26
3.1.2 Pemodelan dengan ARX	26
3.1.3 Validasi Model	26
3.1.4 Perancangan Fuzzy Gain Scheduling-PI	26
3.1.5 Kriteria Performansi	27
3.1.6 Analisa Data dan Pembahasan.....	27
3.2 Data Masukan dan Data Keluaran	27
3.3 Pemodelan Proses Menggunakan ARX	28
3.3.1 <i>Import</i> Data Masukan dan Keluaran.....	29
3.3.2 Inisiasi Orde Model	29
3.3.3 Validasi Model	29
3.3.4 Validasi Fungsi Alih Model Proses Kompresor	34
3.4 Perancangan <i>Surge Control</i> FGS-PI	34
3.4.1 Pemodelan <i>Flow Transmitter</i>	35
3.4.2 Pemodelan <i>Actuator</i> dan <i>Control Valve</i>	36
3.4.3 Pemodelan <i>Setpoint Surge Control</i>	37
3.5 Pemodelan Pengendali FGS - PI	41
3.5.1 Inisiasi <i>Range</i> Masukan dan Keluaran	42
3.5.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy	42
3.5.3 Perancangan Aturan <i>Rules</i> Fuzzy	46
3.6 Diagram Blok Perancangan FGS-PI.....	47
3.7 Simulasi Perbandingan Pengendali FGS-PI dan PI	47
3.8 Simulasi <i>Tracking Setpoint</i>	48
3.9 Simulasi Uji <i>Antisurge</i>	48
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL SIMULASI ...	31
4.1 Simulasi dan Uji Performansi.....	51
4.2 Uji <i>Open-Loop</i>	51
4.3 Uji <i>Close-Loop</i>	52
4.3.1 Uji <i>Close-Loop Setpoint</i> 40 Inch H ₂ O	52

4.3.2 Uji <i>Close-Loop Setpoint</i> 50 Inch H ₂ O	54
4.3.3 Uji <i>Close-Loop Setpoint</i> 60 Inch H ₂ O	55
4.3.4 Uji <i>Close-Loop Setpoint</i> 70 Inch H ₂ O	57
4.3.5 Uji <i>Close-Loop Setpoint</i> 80 Inch H ₂ O	58
4.3.6 Karakteristik Respon Transien Uji <i>Close-Loop</i>	60
4.4 Uji <i>Tracking Setpoint</i>	62
4.4.1 Karakteristik Respon Uji <i>Tracking Setpoint</i>	64
4.5 Uji <i>Antisurge</i>	65
4.6 Pembahasan.....	72
BAB V PENUTUP.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	75
5.3 Rekomendasi	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN A. Data Masukan dan Keluaran Kompresor	
LAMPIRAN B Diagram Blok Simulink Pengujian <i>Antisurge</i>	
LAMPIRAN C Diagram Blok Simulink Pengujian <i>Open-Loop</i>	
LAMPIRAN D P&ID Kompresor C-7080	
BIOGRAFI PENULIS	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kompresor Sentrifugal	7
Gambar 2.2 Sistem pengendalian <i>antisurge</i> saluran recycle	10
Gambar 2.3 <i>Surge line</i> dan <i>Surge control line</i>	11
Gambar 2.4 Diagram blok ARX.....	13
Gambar 2.5 Karakteristik respon transien	13
Gambar 2.6 Respon sistem pengendalian.....	17
Gambar 2.7 Diagram blok FGS-PI.....	18
Gambar 2.8 Struktur logika fuzzy	19
Gambar 2.9 Fungsi keanggotaan segitia dan trapesium	20
Gambar 2.10 Contoh set fuzzy	21
Gambar 2.11 Contoh model mamdani	22
Gambar 2.12 Defuzzifikasi centroid max - min	23
Gambar 3.1 Langkah penelitian	25
Gambar 3.2 Data masukan dan data keluaran	27
Gambar 3.3 Alur pemodelan dengan ARX	28
Gambar 3.4 Model ARX hasil percobaan	29
Gambar 3.5 <i>Error</i> hasil pemodelan.....	30
Gambar 3.6 Diagram blok proses kompresor.....	31
Gambar 3.7 <i>Poles</i> dan <i>Zeros</i>	31
Gambar 3.8 <i>Autocorrelation</i> dan <i>crosscorrelation</i>	32
Gambar 3.9 Validasi model.....	33
Gambar 3.10 <i>Error</i> validasi model.....	33
Gambar 3.11 Uji step model proses kompresor	34
Gambar 3.12 Diagram blok simulink <i>flow transmitter</i>	35
Gambar 3.13 Diagram blok simulink <i>control valve</i>	37
Gambar 3.14 Model <i>setpoint surge control</i>	40
Gambar 3.15 Alur perancangan pengendali logika fuzzy	41
Gambar 3.16 Fungsi keanggotaan <i>error</i>	42
Gambar 3.17 Fungsi keanggotaan perubahan <i>error</i>	43
Gambar 3.18 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKp 0-3	43
Gambar 3.19 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKi 0-3	44
Gambar 3.20 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKp 0-2	44

Gambar 3.21 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKi 0-2	45
Gambar 3.22 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKp 0-1	45
Gambar 3.23 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKi 0-1	46
Gambar 3.24 Diagram blok simulink FGS-PI.....	47
Gambar 3.25 Diagram blok simulink simulasi FGS-PI dan PI ...	48
Gambar 3.26 Diagram blok simulink uji <i>antisurge</i>	48
Gambar 4.1 Uji respon <i>plant</i> secara <i>open-loop</i>	51
Gambar 4.2 Uji respon <i>closed-loop</i> pada 40 Inch H2O	52
Gambar 4.3 Kp <i>scheduled</i> 40 Inch H2O	53
Gambar 4.4 Ki <i>scheduled</i> 40 Inch H2O	53
Gambar 4.5 Uji respon <i>closed-loop</i> pada 50 Inch H2O	54
Gambar 4.6 Kp <i>scheduled</i> 50 Inch H2O	54
Gambar 4.7 Ki <i>scheduled</i> 50 Inch H2O	55
Gambar 4.8 Uji respon <i>closed-loop</i> pada 60 Inch H2O	55
Gambar 4.9 Kp <i>scheduled</i> 60 Inch H2O	56
Gambar 4.10 Ki <i>scheduled</i> 60 Inch H2O	56
Gambar 4.11 Uji respon <i>closed-loop</i> pada 70 Inch H2O	57
Gambar 4.12 Kp <i>scheduled</i> 70 Inch H2O	57
Gambar 4.13 Ki <i>scheduled</i> 70 Inch H2O	58
Gambar 4.14 Uji respon <i>closed-loop</i> pada 85 Inch H2O	58
Gambar 4.15 Kp <i>scheduled</i> 85 Inch H2O	59
Gambar 4.16 Ki <i>scheduled</i> 85 Inch H2O	59
Gambar 4.17 Uji <i>tracking setpoint</i> FGS-PI dan PI.....	62
Gambar 4.18 Kp <i>scheduled setpoint tracking</i>	63
Gambar 4.19 Ki <i>scheduled setpoint tracking</i>	63
Gambar 4.20 Uji <i>antisurge</i>	66
Gambar 4.21 Analisa pengendalian <i>surge</i>	68
Gambar 4.22 Perbesaran gambar 4.21.....	69
Gambar 4.23 Analisa waktu tempuh titik C ke SL dan SCL.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi singkat <i>flow transmitter</i>	35
Tabel 3.2 Spesifikasi singkat <i>actuator</i> dan <i>control valve</i>	36
Tabel 3.3 Data <i>design</i> kompresor C-7080	37
Tabel 3.4 Data Head dan Q(vol)	38
Tabel 3.5 Data perhitungan tekanan <i>discharge</i> dan DP	38
Tabel 3.6 Data minimum <i>flow</i> dan minimum <i>flow control</i>	39
Tabel 3.7 Aturan <i>rules</i> fuzzy untuk <i>gain scheduler</i> Kp	46
Tabel 3.8 Aturan <i>rules</i> fuzzy untuk <i>gain scheduler</i> Ki	47
Tabel 4.1 Karakteristik respon transien uji <i>Close-Loop</i>	60
Tabel 4.2 Karakteristik respon transien uji <i>Tracking Setpoint</i>	64
Tabel 4.4 Waktu tempuh titik C ke SL dan SCL	71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pengiriman gas sepanjang jalur pipa merupakan proses yang umum dalam industri perminyakan dan gas. Gas biasanya dikirim pada tekanan tinggi melalui sebuah kompresor sebelum memasuki jalur pipa^[1]. Kompresor yang digunakan pada sumur gas yang memiliki tekanan rendah disebut *Low Pressure Gas Kompresor* dimana tekanan rendah pada gas yang dialirkan tersebut ditingkatkan dalam suatu stage tertentu^[2]. Dalam kompresor terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi proses, diantaranya adalah laju aliran masukan fluida, tekanan, dan suhu. Variabel – variabel tersebut memiliki sistem pengendalian masing – masing yang terintegrasi menjadi suatu sistem pengendalian kompresor agar hasil kompresi dapat maksimal^[3]. *Low Pressure Gas Kompresor C-7080* di lapangan badak VICO Indonesia ini termasuk ke dalam jenis *turbocompressor* dimana kompresor tersebut memiliki masalah yang serius ketika rasio tekanan meningkat; ketika rasio tekanan tinggi dan aliran berkurang, aliran tersebut dapat menjadi tidak stabil dan dapat membalik ke arah sebaliknya. Kondisi ini yang dinamakan *surge*, mengganggu kondisi steady dalam kompresor dan dapat menggerakkan bagian kompresor yang berputar (*impeller*) ke arah bagian kompresor yang diam (*diffuser*), sehingga menghancurkan kompresor^[2]. Dalam kasus tersebut telah dipasang sistem antisurge dengan pengendali PI pada kompresor C-7080. Menurut teori bahwa pengendali PI sangat efektif digunakan pada sistem yang *linear*^[3]. Tetapi, pada kenyataannya bahwa penerapan pengendali PI di lapangan mampu mengatasi masalah *surge* yang menurut (Hafaifa dkk, 2009) fenomena *surge* merupakan ketidakstabilan kondisi operasi *nonlinear*. Sehingga dengan adanya penerapan suatu metode pengendalian berbasis *nonlinear* diharapkan dapat meningkatkan kinerja sistem *antisurge* pada C-7080^{[1][4]}.

Oleh sebab itu, dalam Tugas Akhir ini akan dirancang sebuah sistem pengendalian untuk meningkatkan performansi sistem

antisurge pada kompresor C-7080. Sistem pengendalian *antisurge* yang akan dirancang dalam Tugas Akhir ini menggunakan metode *Fuzzy Gain Scheduling*-PI. Kemudian dari hasil perancangan ini akan dibandingkan dengan pengendali PI yang digunakan pada *plant*. Metode *Fuzzy Gain Scheduling*-PI merupakan suatu teknik optimasi pengendali PI dimana parameter pengendali PI berubah secara otomatis terhadap perubahan kondisi operasi *plant*^[5]. Pengendali logika fuzzy merupakan suatu metode pengendalian berbasis pengetahuan, logika, dan aturan – aturan *rule* berdasarkan pengalaman perancangannya. Selain itu metode ini dapat digunakan pada sistem yang memiliki karakteristik *nonlinier*^[6].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam Tugas Akhir ini. Adapun untuk rumusan permasalahannya adalah sebagai berikut:

- Bagaimana fenomena *surge* terjadi pada kompresor C-7080?
- Bagaimana merancang sistem pengendalian *Antisurge* berbasis *Fuzzy Gain Scheduling*-PI?
- Bagaimana kinerja sistem pengendalian *Antisurge* berbasis *Fuzzy Gain Scheduling*-PI?

1.3 Batasan Masalah

Agar lebih memfokuskan penelitian Tugas Akhir ini, maka perlu dinyatakan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- *Plant* yang digunakan sebagai objek studi adalah *Low Pressure Gas Kompresor C-7080* di lapangan badak VICO Indonesia.
- Variabel yang dikendalikan adalah *flow suction*.
- Sistem pengendalian yang akan ditinjau dan dirancang ulang adalah pengendalian *antisurge* pada kompresor C-7080 di lapangan badak VICO Indonesia.
- Pemodelan *plant* kompresor dilakukan dengan menggunakan metode ARX atau *AutoRegressive with Exogeneous Input*.

- Metode pengendalian dilakukan dengan menggunakan metode *Fuzzy Gain Scheduling-PI*

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah merancang sistem pengendalian *antisurge* dengan menggunakan *Fuzzy Gain Scheduling-PI* untuk meningkatkan kinerja sistem antisurge pada kompresor C-7080 di lapangan badak VICO Indonesia dengan parameter kualitatif dan kuantitatif yaitu mendapatkan respon transien sistem yang lebih baik seperti; waktu naik lebih cepat, waktu settling lebih cepat, dan overshoot rendah.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam perancangan ini, langkah – langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

- Studi Literatur
 - Studi teoritis mengenai *P&ID, Data Sheet*.
 - Studi mengenai Kontrol Fuzzy
 - Studi mengenai Gain Scheduling
- Identifikasi Masalah
- Penetapan Tujuan Penelitian
- Pengambilan data – data teknis dan operasi *plant*.
Pengambilan data dilakukan dengan cara sebagai berikut:
 - Pencatatan data – data proses pada saat kondisi operasi normal.
 - Pengambilan data melalui *P&ID*.
- Pengolahan data, meliputi:
 - Pemodelan proses pada sistem pengendalian antisurge kompresor
 - Validasi model
- Merancang pengendali dengan *Fuzzy Gain Scheduling-PI* dan merepresentasikan dalam bentuk program komputer.
- Menentukan parameter PI berdasarkan *Fuzzy Gain Scheduling-PI*
- Pengujian, analisa, dan evaluasi.

- Melakukan pengujian dan evaluasi terhadap pemodelan kompresor melalui simulasi.
- Melakukan pengujian dan evaluasi terhadap model instrument kontrol sistem melalui simulasi.
- Penarikan kesimpulan hasil simulasi
- Penyusunan Laporan Akhir

1.6 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi bahasan secara singkat teori – teori yang terkait dalam tugas penulisan Tugas Akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai rincian tahapan – tahapan yang harus dijalankan untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari penelitian ini adalah perhitungan dan model yang siap untuk disimulasikan dan dianalisa.

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

Bab ini merupakan tindak lanjut dari BAB III, dimana dari simulasi yang didapatkan baik berupa grafik maupun tabulasi, dilakukanlah analisa – analisa serta pembahasan yang berorientasi pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

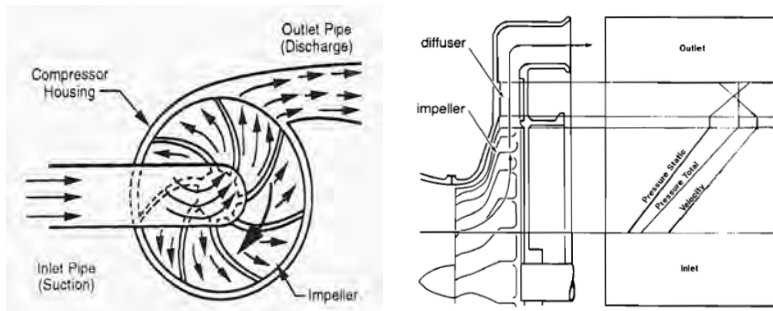
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Kerja Kompresor

Kompresor adalah mesin yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida dengan cara memampatkan volume fluida dibagian suction sehingga pada keluaran bagian discharge, fluida tersebut tekanannya meningkat^[1]. Secara umum, berdasarkan prinsip kerjanya kompresor dibedakan atas empat kategori, yaitu kompresor setrifugal, kompresor *axial*, *rotary* dan *reciprocating*. Pada VICO Indonesia lapangan badak, jenis kompresor yang digunakan pada fluida gas bertekanan rendah adalah jenis kompresor sentrifugal^[2]. Kompresor sentrifugal merupakan tipe dinamik seperti gambar 2.1 dibawah ini,



Gambar 2.1 Kompresor Sentrifugal^[3].

Pada gambar diatas kompresor sentrifugal memiliki 3 bagian utama yaitu *impeller*, *diffuser*, dan *scroll*. Prinsip kerjanya yaitu gas ditarik masuk ke *impeller*, lalu gas diarahkan ke bagian *diffuser* dengan sudut yang telah ditentukan oleh sudut keluaran bagian *impeller*. Dalam *diffuser*, kecepatan gas diturunkan karena luas penampang *diffuser* bertambah secara bertahap sehingga tekanannya bertambah. Hal ini yang membuat gas terkompresi^[3].

2.2 Teori Kompresi

Teori kompresi berdasarkan penurunan dari hukum termodinamika. Teori kompresi ini berguna untuk memahami rancangan dinamika kompresor, operasi, dan masalah – masalah yang timbul dalam kompresor seperti *surge*. Pada dasarnya ada dua proses kompresi yaitu isentropis dan politropis. Pada penelitian ini hanya akan dibahas proses isentropis karena *plant* kompresor yang akan diteliti menerapkan proses isentropis. Proses isentropis adalah suatu proses kompresi dimana tidak ada penambahan atau pengurangan panas dari sistem^[12]. Persamaan kompresi isentropis dapat dijelaskan pada persamaan (2.1),

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \quad (2.1)$$

Dimana k merupakan rasio spesifik heats (C_p/C_v). Dalam proses kompresi isentropis, proses tersebut memberikan kerja yang disebut sebagai *Head* yang disajikan dalam satuan ft-lbm/lbf. Tekanan meningkat yang dihasilkan oleh variasi nilai *Head* atau kerja berdasarkan kerapatan gas tersebut. Persamaan (2.2) dibawah ini merupakan persamaan untuk menghitung nilai *Head* pada proses kompresi isentropis^[2].

$$H_{is} = 53.35 \cdot Z_{avg} \left(\frac{T_s}{S_g} \right) \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (2.2)$$

Dengan,

H_{is} = *isentropis head* atau kerja, ft-lbm/lbf

Z_{avg} = Faktor Kompresibilitas rata – rata

T_s = Temperatur Suction (dalam satuan Rankine)

S_g = Spesifik gravity

P_d = Tekanan discharge

P_s = Tekanan suction

Untuk mengetahui kinerja atau perfomansi dari proses kompresi isentropis tersebut dapat diukur dari efisiensinya yaitu rasio kerja keluaran dan kerja masukan. Persamaan (2.3) dibawah

ini adalah untuk menghitung efisiensi proses kompresi isentropis^[12].

$$\eta_{is} = T_s \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right]}{(T_d - T_s)} \quad (2.3)$$

Dimana η_{is} merupakan efisiensi proses kompresi isentropis.

2.3 Fenomena Terjadinya Surge

Surge didefinisikan sebagai *self – oscillations* dari tekanan dan laju aliran yang sering ditandai dengan pembalikan arah laju aliran^{[1][2]}. *Surge* terjadi ketika aliran fluida yang masuk ke kompresor dibawah dari batas laju aliran minimumnya. Dengan terjadinya *surge* pada kompresor maka akan menyebabkan terjadinya osilasi tekanan dan akan terjadi pembalikan aliran fluida^{[3][4]}. Umumnya ada 2 jenis *surge* yang terjadi pada kompresor yaitu *mild surge* dan *violent surge*.

1. Mild Surge

Merupakan *surge* yang terjadi karena adanya osilasi aliran dengan frekuensi tinggi dalam batas aliran sempit. Karena kecepatan gas pada dinding difusser lebih rendah dari pada diffuser, aliran berkurang dan aliran membalik (reverse) yang pertama terjadi pada dinding diffuser, sedangkan aliran utama turun ke bagian tengah diffuser tetapi arahnya tetap maju^[2].

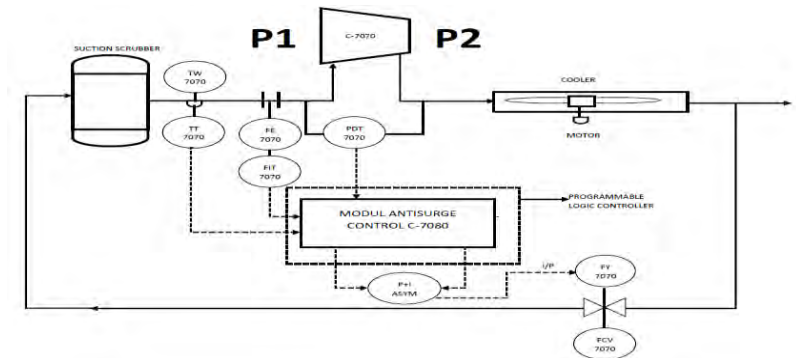
2. Violent Surge

Aliran menurun tiba – tiba secara drastis, kompresor bergetar atau kecepatannya berlebih atau trip setelah beberapa waktu ketika suhu discharge sangat tinggi. *Violent surge* umumnya berulang, dengan waktu antara kejadian surge sekitar 1 sampai beberapa detik^[2].

2.4 Sistem Pengendalian Antisurge

Pengendalian *antisurge* selalu berdasarkan pada pemanipulasian *recycle valve*. Bukan valve yang dikendalikan

dapat menggeser titik operasi kompresor dari kondisi *surge* ke kondisi aman. Pada gambar 2.2 dibawah ini *recycle valve* harus menutup 100% agar kerja yang dilakukan dan energi yang dihasilkan maksimal sehingga plant tidak mengalami kerugian. ASCV atau *recycle valve* akan membuka apabila gejala *surge* mulai terjadi. Dengan terbukanya ASCV maka laju aliran suction yang kurang dapat di *backup* oleh adanya aliran yang disirkulasi dari discharge [3].



Gambar 2.2 Sistem *antisurge* saluran *recycle* C-7080

Untuk merancang pengendalian *antisurge* harus berpedoman pada kurva operasi karakteristik kompresor dengan mendapatkan garis batas *surge limit line*. Lalu dari garis tersebut dapat dibuat aturan kendali dengan menggeser gradien garisnya atau dapat disebut juga *safety margin*. Untuk plant pada penelitian ini *safety margin* sebesar 10%. Dibawah ini merupakan langkah-langkah membuat *surge limit line* dan *surge control line* [2].

1. Mendapatkan parameter-parameter *design* kompresor yang dilihat dari kurva operasi karakteristik kompresor seperti nilai Head atau kerja (ft-lbm/lbf) [2].
2. Menghitung tekanan *discharge* dari masing-masing head menggunakan persamaan 2.4 berikut[2].;

$$P2 = \left[1 + \frac{\text{Head} * \text{Spesific Gravity} * \frac{K-1}{K}}{T \text{ Suction} * Z \text{ Average} * 53.35} \right]^{\frac{K}{K-1}} * P1 \quad (2.4)$$

Dimana P_2 adalah tekanan *discharge*, K adalah *specific heats*, $T_{suction}$ adalah *temperature suction* dan $Z_{average}$ adalah *gas compressibility factor rata-rata*^[2].

3. Menghitung nilai *minimum flow* dan *minimum flow control* pada tiap-tiap *head* menggunakan persamaan 2.5 berikut^[2];

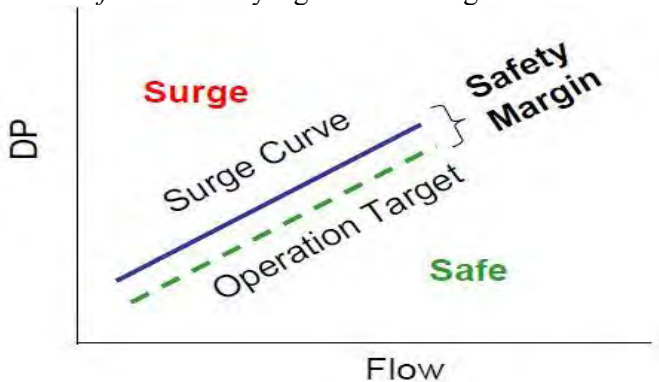
$$Q_{std} = \frac{Q_{vol} * P_1}{T_{suction} * Z_1 * 19.63} \quad (2.5)$$

$$HS = \frac{Q_{std}^2}{CD^2 * P_1} \quad (2.6)$$

$$HC = \frac{[Q_{std} + (Q_{std} * \text{Safety Margin})]^2}{(CD^2)(P_1)} \quad (2.7)$$

Dimana Q_{std} adalah *flow rate standard* dalam satuan MMSCFD (*Million Metric Standard Cubic Feet Per Day*), Q_{vol} adalah *flow volumetric*, P_1 adalah tekanan *suction*, Z_1 adalah *gas compressibility factor* pada bagian *suction*, HS adalah *minimum flow*, CD adalah *flow coefficient*, HC adalah *minimum flow control* dan *safety margin* adalah margin yang digunakan dalam *surge control* umumnya 10%^[2].

4. Menggambar kurva *surge control* dengan *minimum flow* dan *minimum flow control* yang telah dihitung^[2].



Gambar 2.3 *Surge line dan Surge control line*^[2].

Berdasarkan gambar 2.3 dapat diperoleh hubungan antara $\Delta P_{or,s}$ dan ΔP (beda tekanan kompresor, yaitu jika $\Delta P_{or,s}$ adalah *flow suction* yang melalui orifice (dalam satuan inch H2O), dapat dihitung laju aliran massa, W (dalam satuan mmscfd) dengan persamaan 2.8^[1].

$$W_s = C \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{or,s} \cdot P_s \cdot M}{T_s \cdot Z_s}} \quad (2.8)$$

dengan anggapan aliran keadaan *steady*, laju aliran massa suction adalah sama dengan laju aliran massa discharge atau $W_s = W_d$ ^[1]. Sehingga,

$$W_d = C \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{or,d} \cdot P_d \cdot M}{T_d \cdot Z_d}} \quad (2.9)$$

Persamaan (2.8) dan (2.9) digabungkan untuk mendapatkan beda tekanan aliran yang melewati orifice pada bagian discharge dengan asumsi bahwa tidak ada perubahan gas *compressibility factor* Z antara suction dan discharge^[1] Sehingga,

$$\Delta P_{or,d} = \frac{T_d \cdot P_s \cdot \Delta P_{or,s}}{P_d \cdot T_s} \quad (2.10)$$

Dengan:

$\Delta P_{or,s}$ = *flow suction* melalui orifice suction (inch H2O)

$\Delta P_{or,d}$ = *flow discharge* melalui orifice discharge (inch H2O)

M = Berat molekul gas

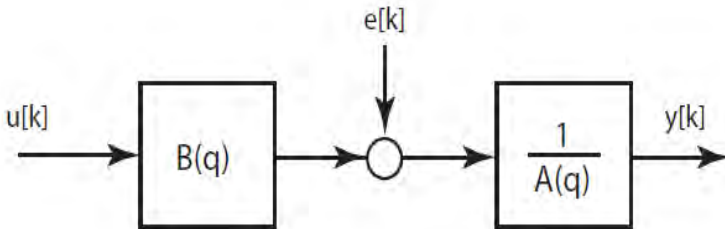
Z_s = *Compressibility factor* suction

Z_d = *Compressibility factor* discharge

C = Konstanta pengali

2.5 *AutoRegressive with Exogeneous Input (ARX)*

ARX adalah suatu metode identifikasi sistem yang mengesitimasi model dari suatu hubungan *input* dan *output*. Gambar 2.4 adalah diagram blok dari ARX.



Gambar 2.4 Diagram blok ARX^[16]

Mekanisme dari ARX yaitu memodelkan antara data *input* dan data *output* dengan cara mengestimasi parameter model $B(q)$ dan $A(q)$ yaitu mendapatkan koefisien a dan b . Dibawah ini merupakan persamaan dari ARX

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-n_k) + \dots + b_{n_b} u(t-n_k-n_b+1) + e(t) \quad (2.11)$$

Keterangan:

$y(t)$ = Keluaran fungsi waktu
 n_a = Jumlah poles
 n_b = Jumlah zeroes
 n_k = Jumlah delay
 $y(t-1)$ = Keluaran sebelumnya
 $y(t-n_a)$ = Keluaran sebelumnya
 $u(t-n_k)$ = Masukan sebelumnya
 $e(t)$ = Noise atau error

Nilai $B(q)$ dan $A(q)$ merupakan parameter model yang nantinya dapat diarahkan ke fungsi alih model dalam domain diskrit

$$H(q) = \frac{B(q)}{A(q)} \quad (2.12)$$

2.6 Fungsi Alih *Flow Transmitter* dan *Control Valve*

Fungsi alih *flow transmitter* dan *control valve* didapatkan dengan pendekatan fungsi alih orde satu.

2.6.1 Model Fungsi Alih *Flow Transmitter*

Model fungsi alih *flow transmitter* didapatkan dengan pendekatan fungsi alih orde satu. Dibawah ini merupakan persamaan fungsi alih orde satu *flow transmitter* ^[5].

$$FTFT = \frac{I(s)}{H(s)} = \frac{Kf}{1 + Tfs} \quad (2.13)$$

$$Kf = \frac{\text{Span Output}}{\text{Span Input}} \quad (2.14)$$

Dimana Kf merupakan *gain* dari *flow transmitter* dan Tf adalah *time constant flow transmitter*.

2.6.2 Model Fungsi Alih *Control Valve*

Model fungsi alih *control valve* didapatkan dengan pendekatan fungsi alih orde satu. Dibawah ini merupakan persamaan fungsi alih orde satu *control valve* ^[5].

$$FTCV = \frac{Kv}{1 + Tvs} \quad (2.15)$$

Dimana Kv merupakan perkalian antara *gain control valve* dan *gain actuator* sedangkan Tv merupakan *constant time control valve*. Untuk *gain actuator* dapat dinyatakan dengan persamaan 2.16

$$Ka = \frac{\text{Span Output}}{\text{Span Input}} \quad (2.16)$$

Perhitungan *gain control valve* dapat dinyatakan dengan persamaan 2.17 dimana untuk jenis bukaan dari valve yaitu *Equal Percentage*

$$Kcv = \frac{df(x)}{dx} \cdot \frac{Fmax}{100\%} \quad (2.17)$$

$$f(x) = R^{x-1} \quad (2.18)$$

$$\frac{df(x)}{dx} = R^{x-1} \ln R \quad (2.19)$$

Dimana $f(x)$ merupakan fungsi bukaan valve dengan x adalah nilai *travel* dan R adalah *rangeability*. Perhitungan *time constant control valve* dilakukan pada persamaan 2.20 dibawah ini

$$\tau_{cv} = T_v(\Delta V + R_v) \quad (2.20)$$

Dengan T_v adalah *time stroke* dan R_v adalah perbandingan konstanta waktu *inferent* terhadap waktu *stroke*.

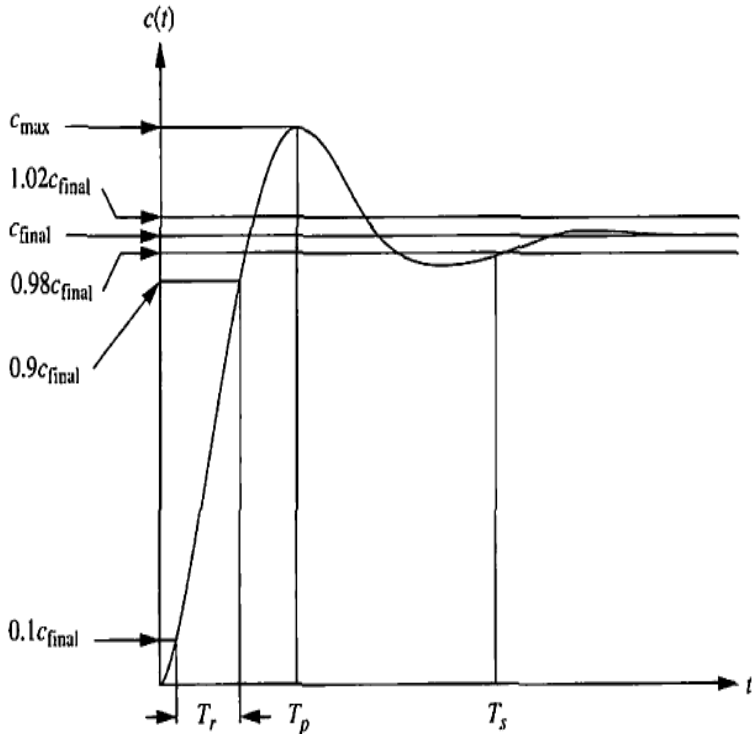
2.7 Respon Transien Sistem

Selanjutnya dalam memahami sistem pengendalian, perlu untuk mengetahui karakteristik respon transien suatu sistem pengendalian. Karakteristik respon transien dikelompokkan sebagai berikut:

1. Waktu naik (T_r)
Adalah didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan oleh respon untuk menuju dari 10% ke 90% terhadap nilai akhir yang diberikan^[7].
2. Waktu settling (T_s)
Adalah didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan respon untuk mencapai dan stabil dalam nilai 2% dari nilai akhir^[7].
3. *Maximum overshoot*
Adalah nilai puncak kurva tanggapan diukur dari satuan^[7]. Untuk nilai akhir keadaan steady responnya jauh atau lebih dari satu, maka biasa digunakan persen maksimum *overshoot* dan didefinisikan sebagai berikut:

$$\%OS = \frac{c_{\max} - c_{\text{final}}}{c_{\text{final}}} \times 100 \quad (2.21)$$

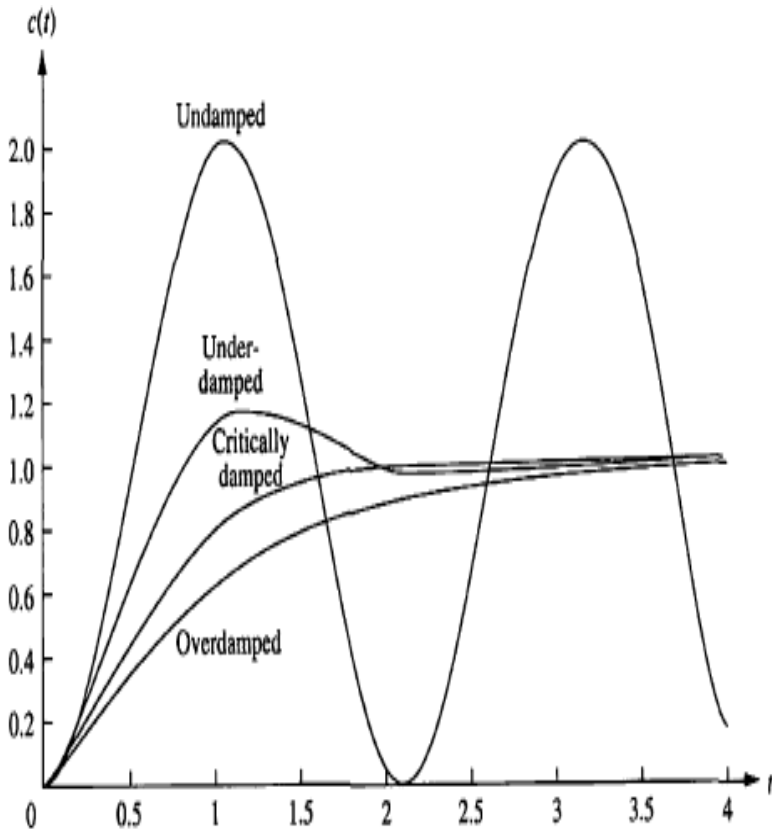
Dengan C_{\max} merupakan nilai maksimum yang dicapai respon sedangkan C_{final} merupakan nilai akhir yang diberikan.



Gambar 2.5 Karakteristik respon transien^[7].

Penjelasan ke empat poin diatas dapat ditunjukkan pada gambar 2.5. Sistem dapat dikatakan steady atau tunak ketika error steady state sebesar 2-5%. Waktu transien respon yaitu dari T_r sampai T_s .

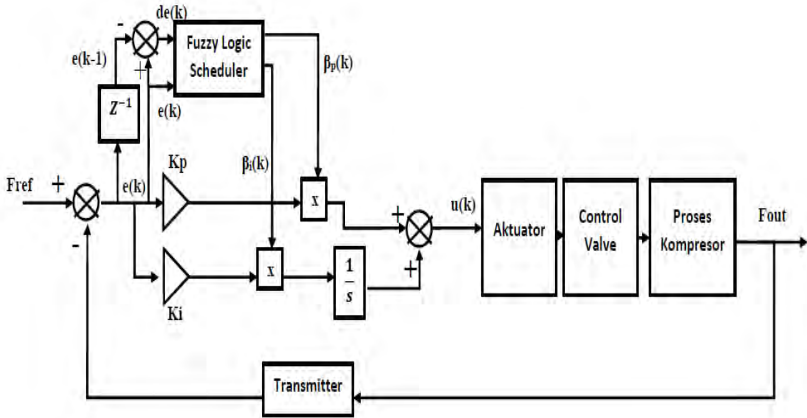
Respon sistem dapat dibagi menjadi respon stabil dan tidak stabil. Kondisi stabil diantaranya yaitu *underdamped*, *critically damped* dan *overdamped*. Sedangkan kondisi tidak stabil diantaranya yaitu *undamped*^[7]..



Gambar 2.6 Respon sistem pengendalian^[7].

2.8 Fuzzy Gain Scheduling-PI

Fuzzy Gain Scheduling adalah sebuah metode pengendali PI *nonlinear* menggunakan paradigma *fuzzy control system*^[14]. Mekanisme pengendaliannya yaitu dengan *tuning* atau menentukan gain pengendali PI yang cocok berdasarkan kondisi operasi dari sebuah sistem. Diagram blok Fuzzy Gain Scheduling ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram Blok Fuzzy Gain Scheduling-PI^[14].

Pada gambar 2.7 terlihat diagram blok Fuzzy Gain Scheduling-PI. *Fuzzy Logic Scheduler* menerima dua masukan, masukan pertama adalah sinyal *error* $e(k)$ dan masukan kedua adalah sinyal perubahan *error* $de(k)$. Sedangkan untuk keluarannya terdapat dua keluaran yaitu *gain scheduler proportional gain* atau $\beta_p(k)$ dan *gain scheduler integral gain* atau $\beta_i(k)$. Dibawah ini merupakan persamaan perubahan *error*

$$de(k) = e(k) - e(k - 1) \quad (2.22)$$

Dengan $\Delta e(k)$ merupakan *difference error*, $e(k)$ adalah *error* saat ini dan $e(k - 1)$ adalah *error* yang di *delay*. Nilai k merupakan *sampling data*. Dua masukan dan dua keluaran tersebut diproses dalam *fuzzy inference engine* yang terdapat aturan-aturan *rules logika fuzzy* yang mekansime *fuzzy inference engine* akan dijelaskan pada subbab selanjutnya. $\beta_p(k)$ dan $\beta_i(k)$ dikalikan dengan *gain* pengendali PI. Dibawah ini merupakan persamaan Fuzzy Gain Scheduling.

$$P(k) = \beta_p(k). K_p. e(k) \quad (2.23)$$

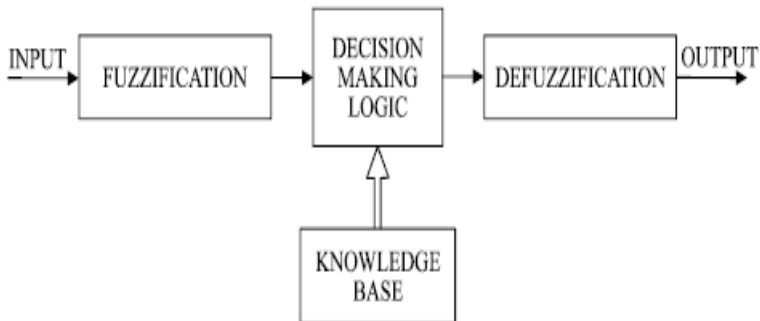
$$I(k) = \beta_i(k) \cdot K_i \cdot e(k) \cdot \frac{1}{s} \quad (2.24)$$

$$u(k) = P(k) + I(k) \quad (2.25)$$

Dimana $u(k)$ merupakan sinyal kendali dari pengendali Fuzzy Gain Scheduling-PI. Gain pengendali PI akan berubah-ubah karena penyesuaian terhadap referensi dari sinyal *error* dan perubahan *error*.

2.9 Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan yang mengemulasi cara berpikir manusia ke dalam bentuk algoritma program. Logika fuzzy merupakan konsep pendekatan perhitungan yang berdasarkan “derajat kebenaran” dibandingkan dengan pendekatan biasa seperti logika boolean “benar atau salah” (1 atau 0). Ide logika fuzzy pertama diciptakan oleh Dr. Lotfi Zadeh dari universitas California, Berkeley pada 1960. Logika fuzzy diantaranya seperti set fuzzy, fuzzifikasi, sistem inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi ditampilkan pada gambar 2.8 yang nantinya juga akan dijelaskan pada sub – bab dibawah ini.



Gambar 2.8 Struktur logika fuzzy^[9].

2.9.1 Set Fuzzy

Sebuah set fuzzy direpresentasikan oleh sebuah fungsi

keanggotaan yang didefinisikan pada himpunan semesta. Himpunan semesta adalah ruang dimana variabel fuzzy dibuat. Fungsi keanggotaan memberikan tingkatan, atau derajat dari keanggotaan dalam sebuah set dari macam – macam elemen himpunan semesta.

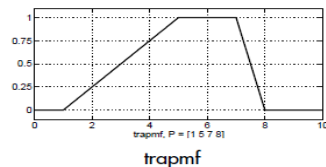
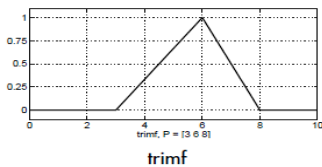
Fungsi keanggotaan memetakan elemen himpunan semesta ke dalam nilai numerik dalam interval $[0, 1]$. Sebuah fungsi keanggotaan dengan nilai nol menyatakan bahwa elemen dalam nilai tersebut bukan sebuah elemen dari set fuzzy, sedangkan nilai satu berarti elemen tersebut sepenuhnya milik set fuzzy tersebut.

2.9.2 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses dekomposisi sebuah sistem masukan atau keluaran ke dalam satu atau lebih set fuzzy. Banyak jenis kurva yang dapat digunakan, tetapi fungsi keanggotaan bentuk segitiga atau trapezium adalah banyak digunakan karena mudah dipresentasikan ke dalam sebuah pengendali^[9].

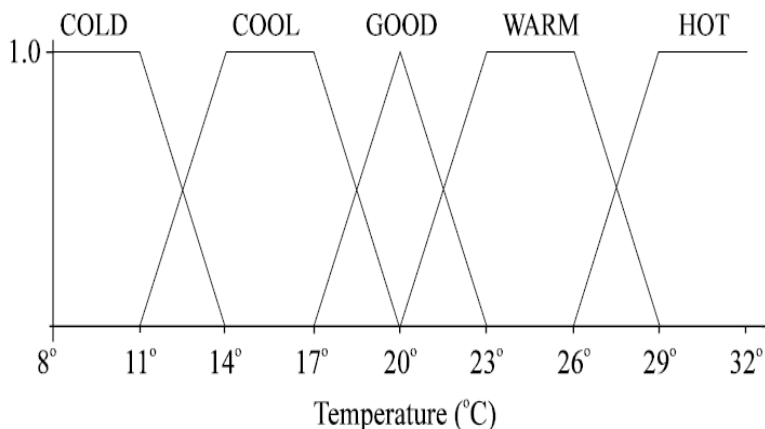
$$\text{segitiga}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.26)$$

$$\text{trapesium}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2.27)$$



Gambar 2.9 Fungsi keanggotaan trimf=segitiga dan trapmf=trapesium^[11]

Gambar 2.9 menunjukkan sebuah sistem set fuzzy untuk sebuah masukan fungsi keanggotaan trapezium dan segitiga. Setiap keanggotaan digambarkan dalam bentuk grafik. Pada gambar tersebut adalah sebuah contoh dari sistem pendingin ruangan dengan sensor temperature. Derajat fungsi keanggotaan dinamai dengan “cold”, “cool”, “good”, “warm” dan “hot”.



Gambar 2.10 Contoh set fuzzy^[9]

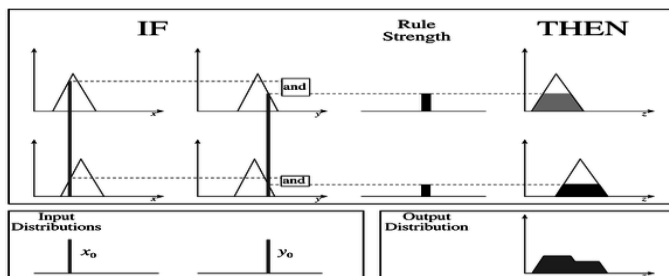
Cara untuk merancang sebuah set fuzzy hanya bergantung kepada kemahiran dan pengalaman perancangannya. Sebagai contoh untuk penjelasan gambar 2.10 yaitu jika ada temperature masukan 18 Celcius maka akan dipertimbangkan sebagai “cool” dengan derajat 0.75 dan akan dipertimbangkan “good” dengan derajat 0.25. Agar dapat membuat aturan – aturan *rule* yang akan mengendalikan motor pendingin ruangan, dapat dengan cara melihat seseorang yang ahli akan mengatur pengaturan untuk mempercepat atau memperlambat motor sesuai dengan temperaturnya. Jika temperature ruangan adalah “good”, kecepatan motor dijaga konstan dan sebagainya^[9].

2.9.3 Inferensi Logika Fuzzy

Sebuah hubungan antara sebab dan akibat, atau sebuah keadaan dan sebuah konsekuensi dibuat karena adanya alasan. Alasan dapat dinyatakan oleh inferensi logika, atau oleh evaluasi dari masukan agar dapat memberika kesimpulan. Umumnya mengikuti aturan – aturan *rules* inferensi yang memiliki bentuk: IF (A) dan (B) Then (C). Dimana A, B, dan C adalah variabel linguistik. Sebagai contoh, IF “temperatur ruangan” adalah sedang THEN “atur kecepatan kipas menjadi cepat”. SEdang adalah suatu fungsi mendefinisikan derajat atau tingkat dari temperature ruangan sedangkan cepat adalah sebuah fungsi yang mendefinisikan derajat atau tingkat dari kecepatan. Kecerdasan buatan berada dalam menggabungkan dua istilah tersebut dinyatakan dalam bahasa heuristik istilah IF...THEN. Agar dapat mengkonversi istilah linguistik ke dalam rangka perhitungan perlu menggunakan fundamental kumpulan – kumpulan teori^{[9] [10]}.

2.9.4 Pengambilan Keputusan Mamdani

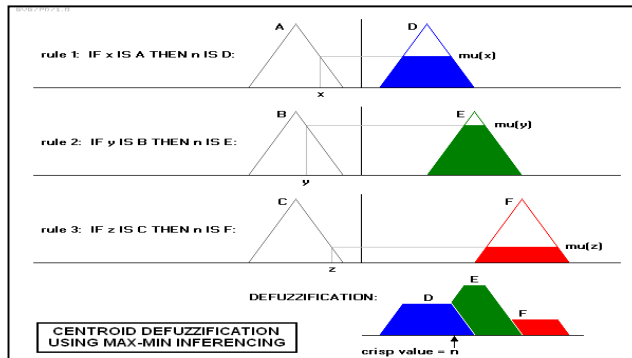
Pengambilan keputusan mamdani sering dikenal dengan nama Metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan pertama²¹ kali oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Aplikasi fungsi implikasi yang digunakan dalam metode ini adalah Min. Penegasan (defuzzy) masukan dari defuzzifikasi adalah suatu himpunan yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan keluaran yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut.



Gambar 2.11 Contoh model mamdani^[9]

2.9.5 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah transformasi invers yang memetakan keluaran dari domain fuzzy kembali ke dalam domain crisp. Beberapa metode defuzzifikasi berkemampuan untuk menghasilkan sebuah keluaran dengan mempertimbangkan semua elemen dari kumpulan fuzzy sesuai dengan bobot atau derajatnya. Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir adalah metode centroid atau (C-o-A) yaitu sebuah metode defuzzifikasi yang sering disebut juga sebagai *Center of Gravity* karena metode ini mencari titik dimana sebuah garis vertical yang memotong kumpulan set ke dalam dua bagian yang setara.



Gambar 2.12 Defuzzifikasi centroid Max – Min^[9].

Pada gambar 2.12 diatas mendemonstrasikan inferensi max – min dan defuzzifikasi centroid untuk sebuah sistem dengan variable input “ x ”, “ y ” dan “ z ” dan sebuah variable output “ n ”. Secara matematika metode ini dapat dinyatakan sebagai:

$$Z_{COA} = \frac{\int \mu_A(z)zdz}{\int \mu_A(z)dz} \quad (2.28)$$

dimana μ_A merupakan derajat keanggotaan dan z adalah nilai keanggotaan.

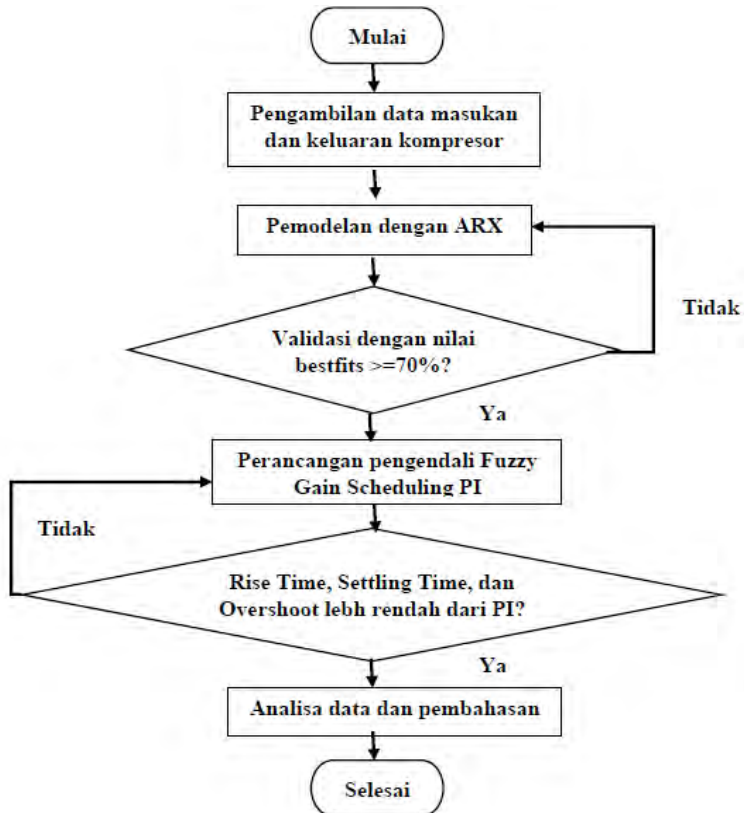
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan langkah – langkah pemodelan dan perancangan sistem, mulai dari diagram blok sistem pengendalian hingga perancangan sistem pengendalian pada *antisurge* kompresor dengan menggunakan fuzzy gain scheduling

3.1 Alur Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui *flowchart* berikut.



Gambar 3.1 Langkah penelitian

3.1.1 Pengambilan Data Masukan dan Keluaran Kompresor

Pengambilan data masukan dan keluaran kompresor dilakukan dengan cara melihat data *history plant* kompresor di DCS *Compressor Control Room*. Pengambilan data masukan dan keluaran masing-masing sebanyak 2200 data yang terhitung pada tanggal 1 Mei 2015 sampai 31 Oktober 2015.

3.1.2 Pemodelan dengan ARX

Pemodelan hubungan antara data masukan dan keluaran yang telah diambil dimodelkan dengan ARX yaitu dengan memasukkan orde model secara eksperimen agar didapatkan koefisien a dan b yang nantinya diubah ke dalam fungsi alih model dalam domain diskrit seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

3.1.3 Validasi Model

Setelah didapatkan model dalam domain diskrit harus divalidasi apakah data model sesuai dengan data *real plant*. Validasi dengan cara melihat nilai *bestfits*. Nilai *bestfits* yang mendekati 100% maka pemodelan dengan ARX dapat digunakan. Kriteria nilai *bestfits* dalam perancangan pemodelan ARX ini yaitu lebih besar atau sama dengan 70%. Jika nilai *bestfits* dibawah kriteria tersebut maka harus dimodelkan ulang dengan cara memasukkan orde model lain

3.1.4 Perancangan Pengendali Fuzzy Gain Scheduling-PI

Perancangan dilakukan dengan menentukan dahulu *range* masukan *error* dan perubahan *error* serta *range* keluaran *gain scheduler* K_p dan K_i . Nilai *range* masukan *error* dan perubahan *error* didapatkan dari lapangan. Sedangkan *range* keluaran *gain scheduler* K_p dan K_i berdasarkan hasil percobaan. Setelah menentukan *range* masukan dan keluaran, dilakukan fuzzifikasi dengan menentukan fungsi keanggotaan dari masing-masing masukan dan keluaran. Fungsi keanggotaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungsi keanggotaan segitiga *trimf* dan fungsi keanggotaan trapesium *trapmf*. Selanjutnya dirancang aturan-aturan fuzzy sebagai pembuat keputusan defuzzifikasi.

3.1.5 Kriteria Performansi

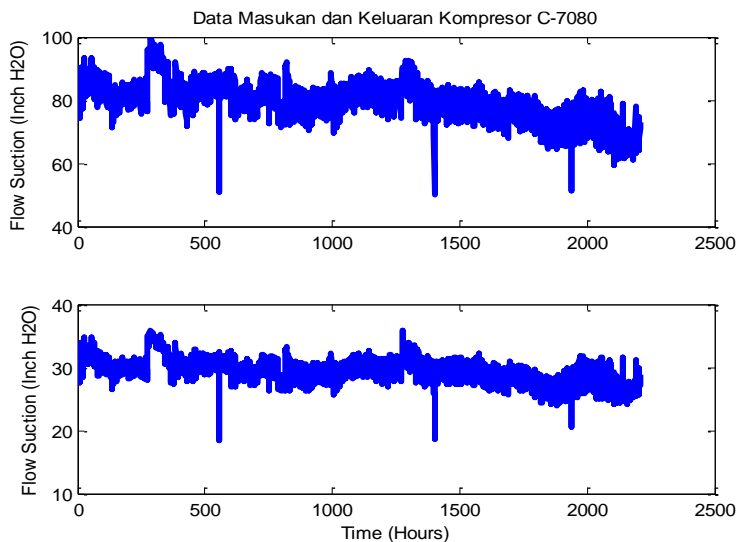
Kriteria performansi dilihat dari karakteristik respon transien hasil perancangan seperti *rise time*, *settling time*, dan *max.overshoot*.

3.1.6 Analisa Data dan Pembahasan

Langkah yang terakhir adalah menganalisa hasil dari perancangan dan dilakukan dengan pembahasan agar dapat ditarik kesimpulan penelitian.

3.2 Data Masukan dan Data Keluaran

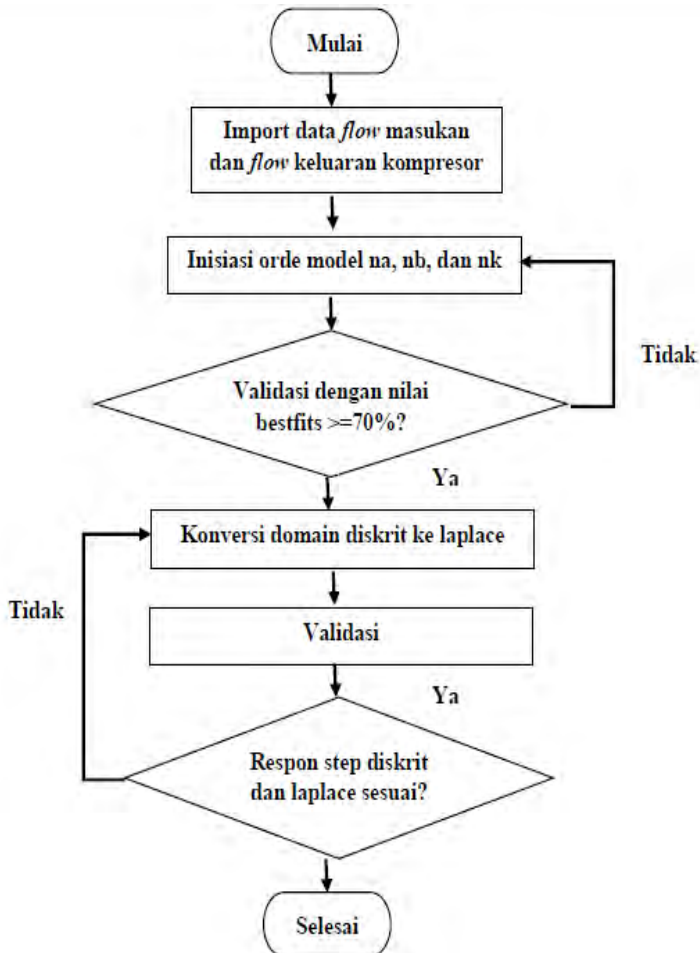
Data masukan dan data keluaran yang digunakan dalam perancangan sistem pengendalian *antisurge* ini adalah *flow suction* dan *flow discharge*. Gambar 3.2 dibawah ini menunjukkan data masukan dan keluaran kompresor C-7080 terhitung tanggal 1 Mei 2015 sampai 31 Oktober 2015.



Gambar 3.2 Data masukan *flow suction* dan data keluaran *flow discharge*

3.3 Pemodelan Proses Menggunakan ARX

Pemodelan proses menggunakan ARX dimaksudkan agar didapatkan fungsi alih proses kompresor sehingga dapat dirancang pengendalinya. Model ARX menggunakan data SISO yaitu *single input – single output*. Pada gambar 3.3 dibawah ini menunjukan alur pemodelan ARX



Gambar 3.3 Alur pemodelan dengan ARX

3.3.1 Import Data Masukan dan Keluaran

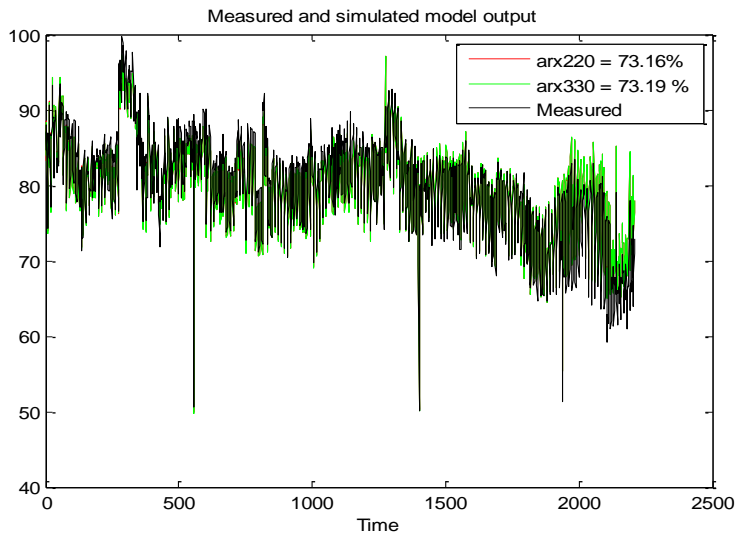
Masukan untuk model ARX adalah *flow discharge* sedangkan keluarannya adalah *flow suction*. Hal ini karena variabel yang dikendalikan adalah *flow suction*.

3.3.2 Inisiasi Orde Model

Inisiasi orde model n_a , n_b , dan n_k dilakukan secara percobaan demi mendapatkan model dengan *bestfits* sesuai kriteria yaitu lebih besar atau sama dengan 70%.

3.3.3 Validasi Model

Validasi model ARX ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini.

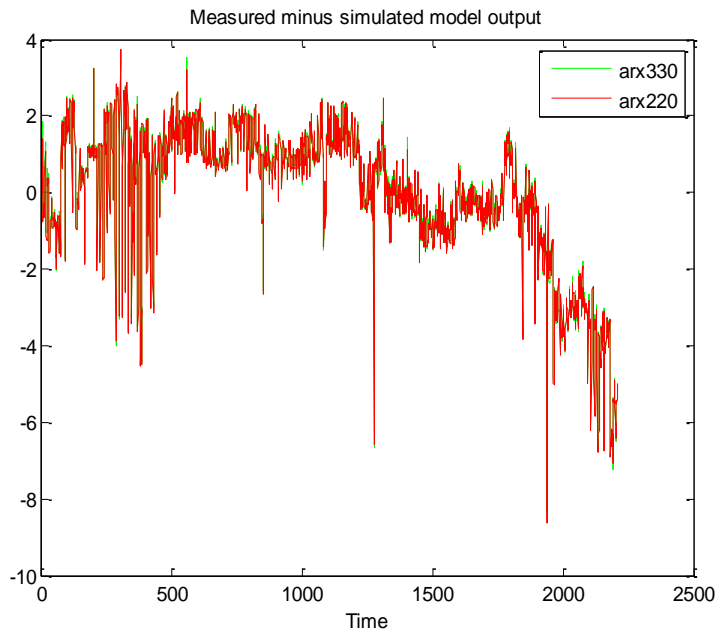


Gambar 3.4 Model ARX hasil percobaan

Gambar 3.4 diatas merupakan hasil estimasi model *plant* dengan ARX. Dari grafik, terlihat warna hitam yang menandakan data keluaran *real plant* sedangkan warna merah dan hijau adalah data hasil estimasi ARX dimana mengikuti data keluaran *real plant*.

Dari hasil estimasi didapatkan nilai bestfits tertinggi yaitu 73.19% ada pada arx330 yang memiliki nilai orde model n_a , n_b dan n_k masing – masing 3, 3 dan 0.

Error hasil pemodelan ditunjukkan pada gambar 3.5 dimana error hasil pemodelan tersebut adalah selisih antara data *real plant* dan data model.



Gambar 3.5 Error hasil pemodelan

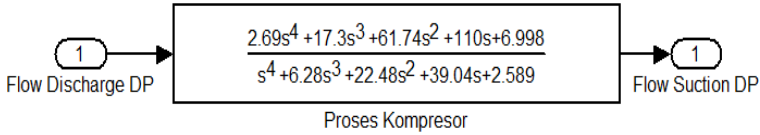
Dari gambar tersebut terlihat grafik warna merah atau arx220 memiliki *error* pemodelan lebih besar dibandingkan dengan grafik warna hijau atau arx330. Ini dikarenakan nilai bestfit mendekati 100% akan memiliki nilai *error* semakin mendekati nol dan sebaliknya jika nilai bestfits menjauhi 100% maka *error* semakin menjauhi nol atau *error*-nya semakin besar.

Hasil estimasi model berupa fungsi alih dalam domain diskrit yang nantinya dikonversi ke dalam domain laplace agar nantinya

dapat dibandingkan dengan kondisi *real plant*. Dibawah merupakan hasil estimasi model yang berupa fungsi alih, untuk persamaan 3.1 menunjukkan fungsi alih model dalam bentuk domain diskrit sedangkan persamaan 3.2 menunjukkan fungsi alih model dalam bentuk domain laplace.

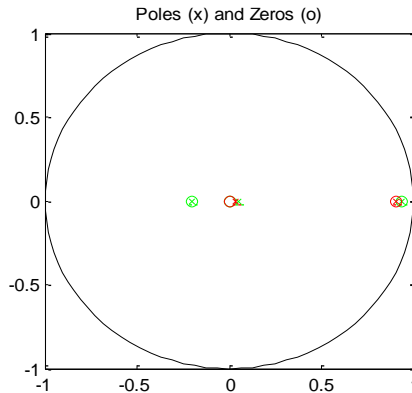
$$\frac{B(q)}{A(q)} = \frac{2.69 - 1.974q^{-1} - 0.5097q^{-2}}{1 - 0.7788q^{-1} + 0.1541q^{-2} + 0.009221q^{-3}} \quad (3.1)$$

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{2.69s^4 + 17.3s^3 + 61.74s^2 + 110s + 6.998}{s^4 + 6.28s^3 + 22.48s^2 + 39.04s + 2.589} \quad (3.2)$$



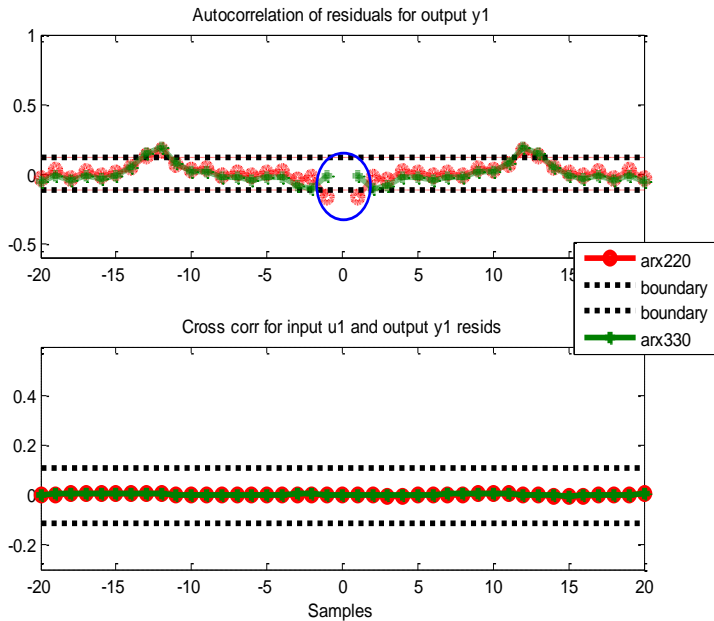
Gambar 3.6 Diagram blok proses kompresor

Agar dapat mengetahui apakah model yang didapat stabil atau konvergen maka model tersebut dicari nilai *zero* dan *poles* seperti yang ditunjukkan gambar 3.7



Gambar 3.7 Poles dan Zeros

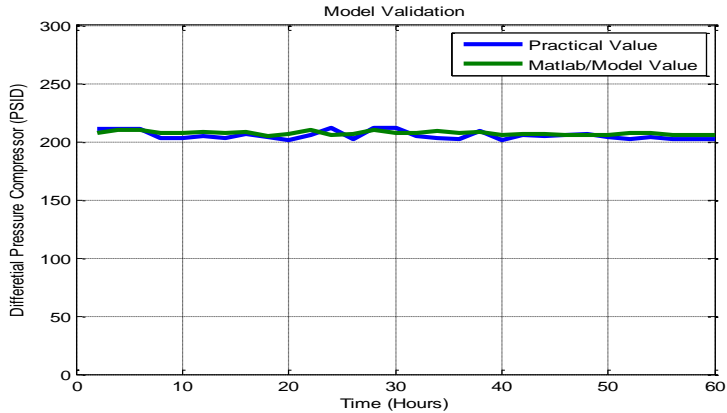
Dari gambar tersebut terlihat *poles* milik arx330 didaerah stabil yaitu didalam lingkaran sehingga model yang didapatkan konvergen. Nilai *autocorrelation* dan *crosscorrelation* ditampilkan pada gambar 3.8 dibawah ini



Gambar 3.8 *Autocorrelation dan crosscorrelation*

Dari gambar tersebut terlihat bahwa *autocorrelation* dan *crosscorrelation* kedua model berada pada *confidence region* tetapi terdapat *outliers* pada kedua model. Jika dibandingkan kedua model tersebut, *outliers* terendah pada arx330. Sehingga model yang paling baik adalah model tersebut.

Validasi juga dilakukan dengan membandingkan data model dengan data lapangan. Data beda tekanan berdasarkan hasil lapangan dibandingkan dengan data hasil simulasi dengan matlab Simulink sebanyak 30 data. Gambar 3.9 menunjukkan validasi model berdasarkan data beda tekanan dilapangan.



Gambar 3.9 Validasi model

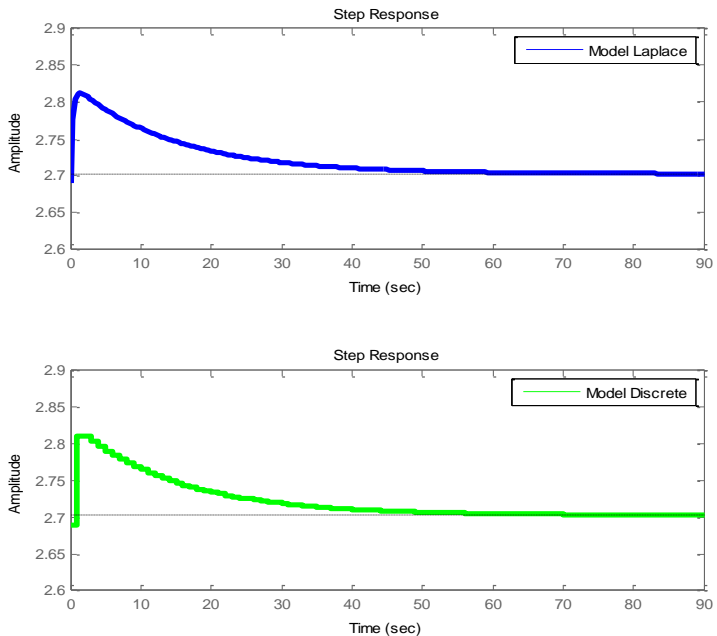
Berdasarkan gambar diatas terlihat nilai beda tekanan hasil simulasi yang mendekati nilai beda tekanan dilapangan. *Error* atau selisih antara nilai hasil simulasi dengan dengan data dilapangan disajikan pada gambar 3.10. Pada gambar tersebut terlihat *error* masih dalam range yang diperbolehkan yaitu 2%-5%. Sehingga model arx220 valid



Gambar 3.10 *Error* validasi model

3.3.4 Validasi Fungsi Alih Model Proses Kompresor

Validasi dilakukan dengan memberikan sinyal uji *step* pada kedua fungsi alih model yaitu fungsi alih model dalam domain diskrit dan domain laplace. Gambar 3.10 menunjukkan hasil respon *step* validasi antara kedua fungsi alih.



Gambar 3.11 Uji step model proses kompresor.

Dari gambar 3.11 terlihat respon step model diskrit dan laplace sesuai. Sehingga konversi model diskrit ke laplace berhasil.

3.4 Perancangan Sistem Pengendalian *Antisurge* Kompresor Berbasis Fuzzy Gain Scheduling-PI.

Perancangan sistem pengendalian *antisurge* kompresor berbasis Fuzzy Gain Scheduling-PI yang telah dijelaskan pada bab

sebelumnya, diturunkan modelnya dalam bentuk model matematik.

3.4.1 Pemodelan *Flow Transmitter*

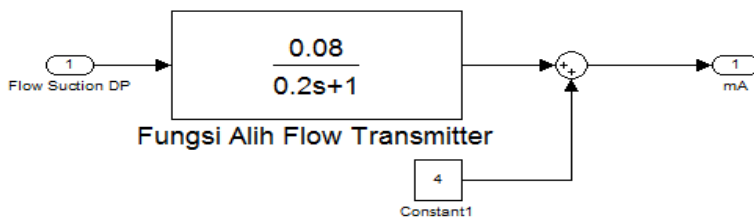
Pemodelan *flow transmitter* dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.13 di bab 2. Dibawah ini merupakan spesifikasi singkat dari *flow transmitter*

Tabel 3.1 Spesifikasi singkat *flow transmitter*

Merek	Rosemount 2024p
Jenis	Elektrik
Range Input	0-200 Inch H2O
Range Output	4-20 mA
Span Input	200
Span Output	16

Berdasarkan persamaan 2.13 didapatkan *gain flow transmitter* sebesar 0.08 mA/Inch H2O. *Time constant* dari *flow transmitter* elektrik berdasarkan buku *instrument engineer handbook* untuk *antisurge* sebesar 0.2 detik. Sehingga fungsi alih *flow transmitter* adalah sebagai berikut

$$FT = \frac{I(s)}{H(s)} = \frac{0.08}{1 + 0.2s} \quad (3.3)$$



Gambar 3.12 Diagram blok simulink *flow transmitter*

3.4.2 Pemodelan *Actuator* dan *Control Valve*

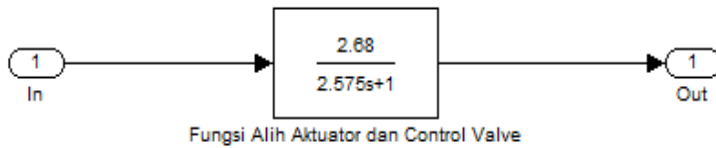
Dibawah ini merupakan spesifikasi singkat dari *actuator* dan *control valve* sedangkan untuk spesifikasi lengkap terlampir di lampiran.

Tabel 3.2 Spesifikasi singkat *actuator* dan *control valve*

Merk Aktuator	Fisher 657
Jenis	Diafragma (Rv=0.03 detik)
Ukuran	60
<i>Air-to-Close</i>	6-30 Psig
Failure Mode	Fail Open (FO)
Merk Valve	Fisher 6 Inch ET
Jenis	Pneumatic
Rangeability	50:1
Max Flow	100 Inch H2O
Stroke Time	2.5 Detik
Jenis Flow	Equal Percentage
Travel	80%

Perhitungan *gain control valve* dapat dinyatakan dengan persamaan 2.17 dimana untuk jenis bukaan dari valve yaitu *Equal Percentage* dengan nilai *travel* 80% dan aliran maksimum ketika valve membuka 100% adalah 38 MMSCFD atau 100 Inch H2O. R adalah *rangeability* yang didapatkan dari data spesifikasi sebesar 50:1. Sehingga didapatkan *gain control valve* adalah sebesar 2.68 Inch H2O/%. Dengan melihat spesifikasi diatas bahwa Tv adalah *time stroke* bernilai 2.5 detik dan Rv bernilai 0.03 detik. Sehingga didapatkan *time constant* sebesar 2.575 detik.

$$FTCV = \frac{2.68}{1 + 2.575s} \quad (3.4)$$



Gambar 3.13 Diagram blok Simulink *actuator* dan *control valve*

3.4.3 Pemodelan *Setpoint Surge Control*

Pemodelan *setpoint surge control* dilakukan dengan melihat kurva performansi kompresor untuk mendapatkan parameter-parameter *design* kompresor dari *vendor*. Dibawah ini merupakan langkah-langkah pemodelan kurva pengendalian *surge* dengan mendapatkan garis *surge limit* dan garis *surge control*

1. Mendapatkan parameter-parameter *design* kompresor. Tabel dibawah ini merupakan parameter-parameter *design* kompresor. Kolom Input Data menunjukkan data-data *design* kondisi operasi gas alam pada kompresor, sedangkan kolom Head dan Qvol masing-masing menunjukkan data kerja kompresor dengan satuan ft-lbm/lbf dan *flow* volumetric dengan satuan ACFM.

Tabel 3.3 Data *design* kompresor C-7080

Input Data	
Delta P Transmitter Range	0 to 300 PSIG
DP SPAN	300
Flow Transmitter Range	0 to 200 Inch H2O
HC SPAN	200
CD (Flow Coefficient)	0.408
<i>Antisurge Protection</i>	10%
T Suction	559.67 R
P Suction	84 PSIG
Specific Gravity	0.688
K (Specific Heats)	1.271

Compresibillty Factor Z1	0.989
Compresibillty Factor Z2	0.989
Z average	0.989

Tabel 3.4 Data Head dan Q(vol)

Head (FT-LBF/LBF)	Q(vol) (ACFM)
34525	2542
41940	2793
49917	3089
58383	3539
67448	4048
77002	4697

2. Menghitung tekanan discharge masing-masing head dengan menggunakan persamaan 2.4 dengan tekanan suction konstan sebesar 84 PSIA

Tabel 3.5 Data perhitungan tekanan *discharge* dan DP

HEAD (FT-LBF/LBM)	P2 (PSIG)	DP (PSIG)
34525	176.5	92.5
41940	204.08	120.08
49917	237.43	153.43
58383	277.37	193.37
67448	325.8	241.8
77002	383.8	299.8

3. Menghitung nilai minimum *flow* dan minimum *flow control* pada tiap-tiap head. Dengan suhu suction konstan 100 F menggunakan persamaan 2.6, 2.6, dan 2.7. Dengan *safety*

margin sebesar 10 % maka persamaan minimum *flow control* adalah sebagai berikut.

Tabel 3.6 Data perhitungan minimum *flow* dan minimum *flow control*

Qvol (ACFM)	QSTD (MMSCFD)	HS (INCH OF WATER)	HC (INCH OF WATER)
2542	19.63	22.33	27.02
2793	21.57	26.97	32.63
3089	23.85	32.97	39.9
3539	27.33	43.28	52.37
4048	31.26	56.64	68.53
4697	36.28	76.26	92.28

4. Menggambarkan kurva *antisurge* kompresor dengan memasukan HS dan HC sebagai sumbu x dan DP sebagai sumbu y. Berdasarkan data dilampangkan, nilai kerja atau head kompresor yang digunakan sebagai pengendalian *antisurge* yaitu pada head tertinggi dengan HS=76.26 Inch of Water dan HC=92.28 Inch of Water, sedangkan untuk nilai beda tekanan yaitu 299.8 PSID. Sehingga didapatkan matriks kurva *antisurge* sebagai berikut

$$X1 = [0 \text{ HS}] \quad (3.5)$$

$$X2 = [0 \text{ HC}] \quad (3.6)$$

$$Y1 = Y2 = [0 \text{ DP}] \quad (3.7)$$

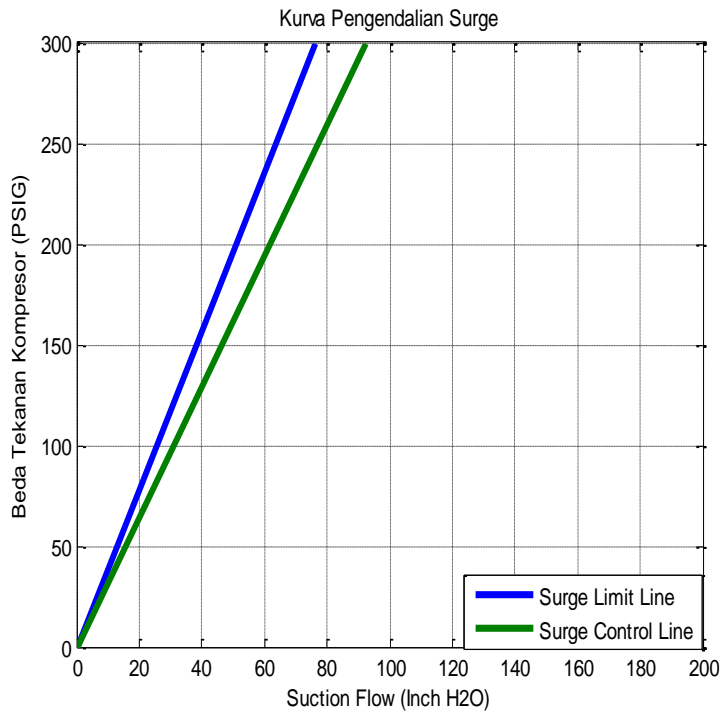
Karena *flow suction measurement* 0-200 Inch of Water dan untuk beda tekanan adalah 0-300 PSID

$$X1 = [0 \text{ HS}] = [0 \text{ 76.26}] \quad (3.8)$$

$$X2 = [0 \text{ HC}] = [0 \text{ 92.28}] \quad (3.9)$$

$$Y1 = Y2 = [0 \text{ DP}] = [0 \text{ 300}] \quad (3.10)$$

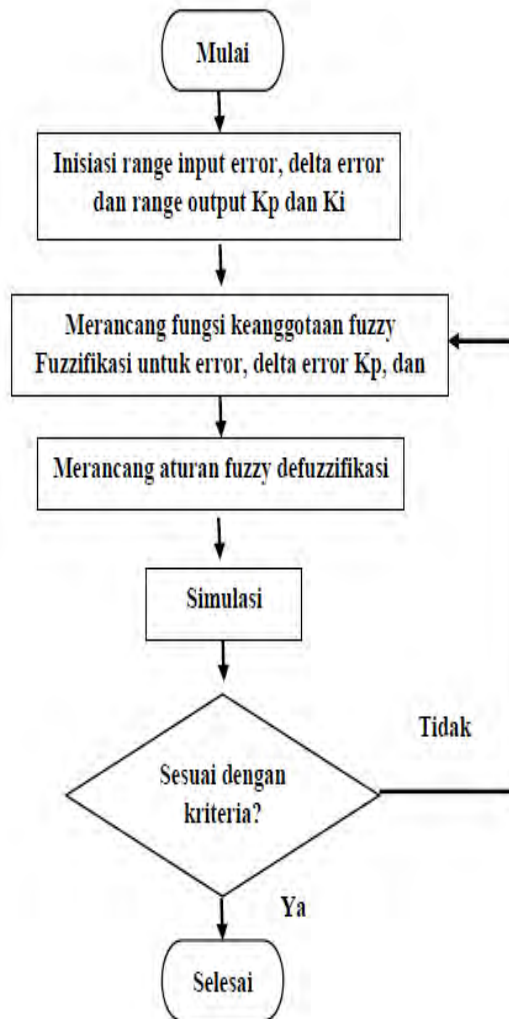
Sehingga didapatkan model kurva *antisurge* seperti gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.14 Model *setpoint surge control*.

3.5 Pemodelan Pengendali Fuzzy Gain Scheduling-PI

Alur perancangan pengendali Fuzzy Gain Scheduling-PI disajikan pada gambar 3.15



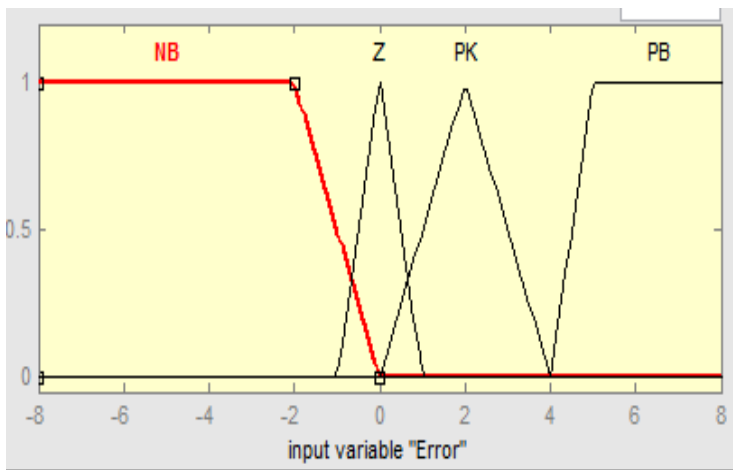
Gambar 3.15 Alur perancangan pengendali logika fuzzy

3.5.1 Inisiasi *Range* Masukan dan Keluaran

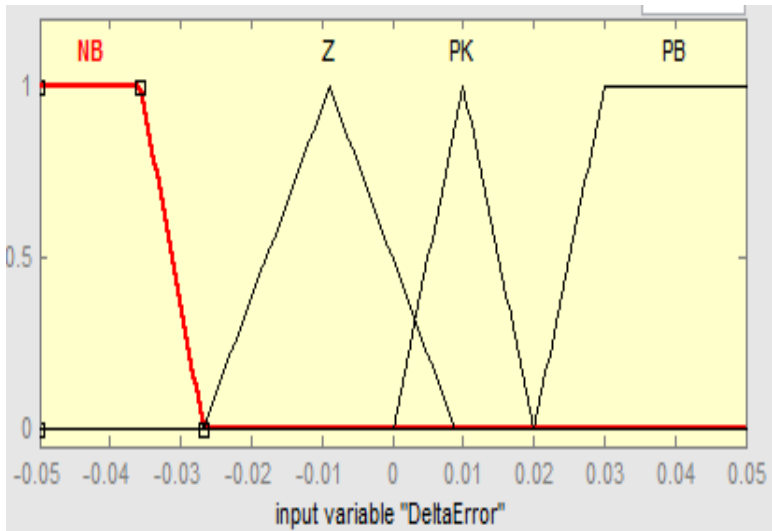
Pada perancangan logika fuzzy ini terdapat dua masukan dan dua keluaran. Masukan yang pertama adalah *error* dan masukan yang kedua adalah perubahan *error*. Sedangkan untuk keluaran yang pertama adalah *gain scheduler* Kp dan keluaran kedua adalah *gain scheduler* Ki. *Range* masukan fungsi keanggotaan fuzzy untuk *error* yaitu antara -8 mA sampai 8 mA. Untuk delta *error* yaitu -0.05 sampai 0.05 yang didapatkan dari *error* lapangan. Sedangkan untuk *Gain Scheduler* Kp dan Ki *range* masukan adalah 0 sampai 3, 0 sampai 2, dan 0 sampai 1.

3.5.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

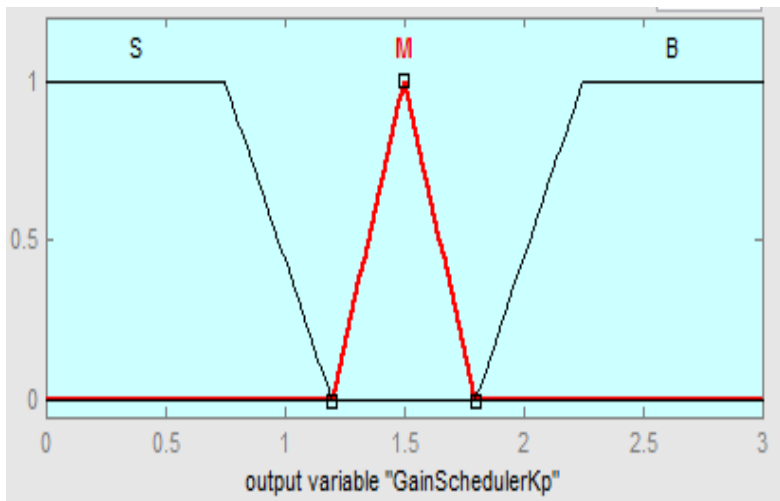
Untuk fungsi keanggotaan *error* dan delta *error* memiliki bentuk fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga yang dinamakan dengan NB = Negatif Besar, Z= Zero, PK= Positif Kecil, dan PB= Positif Besar. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan Kp dan Ki memiliki bentuk trapesium dan segitiga untuk Kp dan segitiga untuk Ki yang dinamakan yaitu S= Small, M= Medium, dan B= Big. Dibawah ini merupakan gambar fungsi keanggotaan masukan dan keluaran.



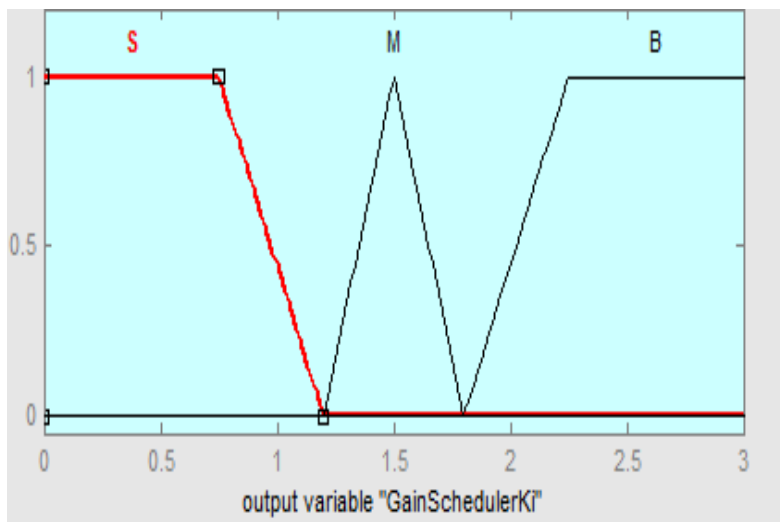
Gambar 3.16 Fungsi keanggotaan *error*



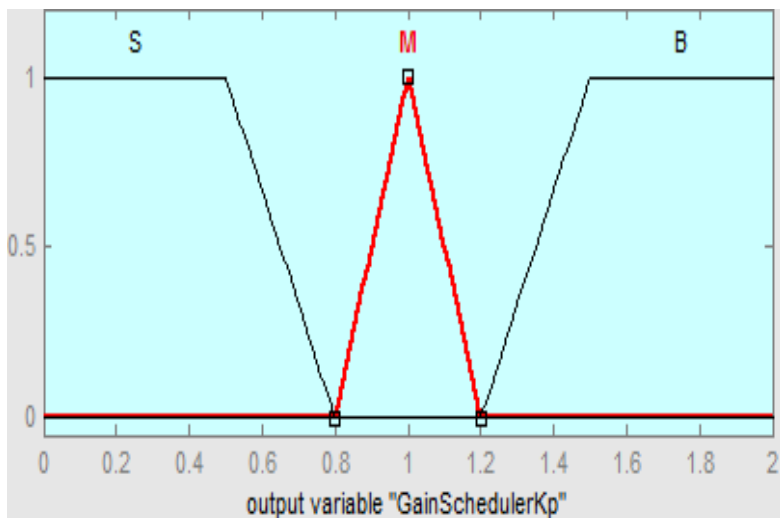
Gambar 3.17 Fungsi keanggotaan perubahan *error*



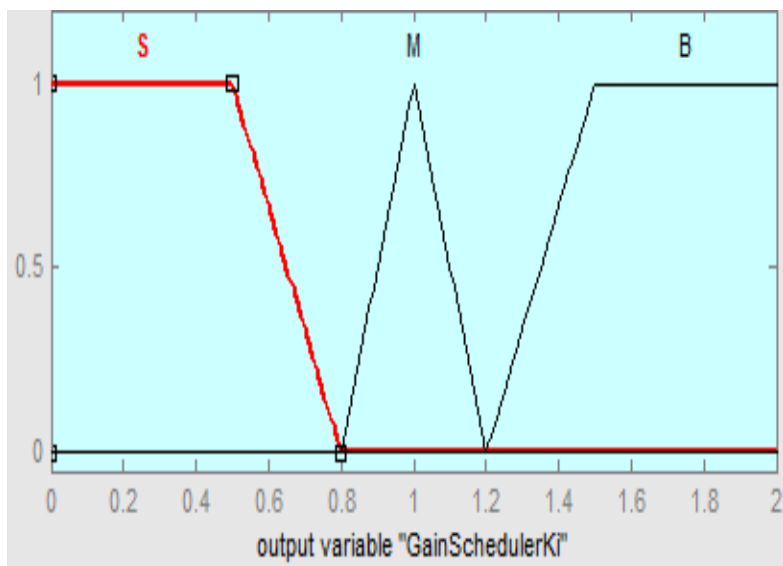
Gambar 3.18 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKp range 0-3



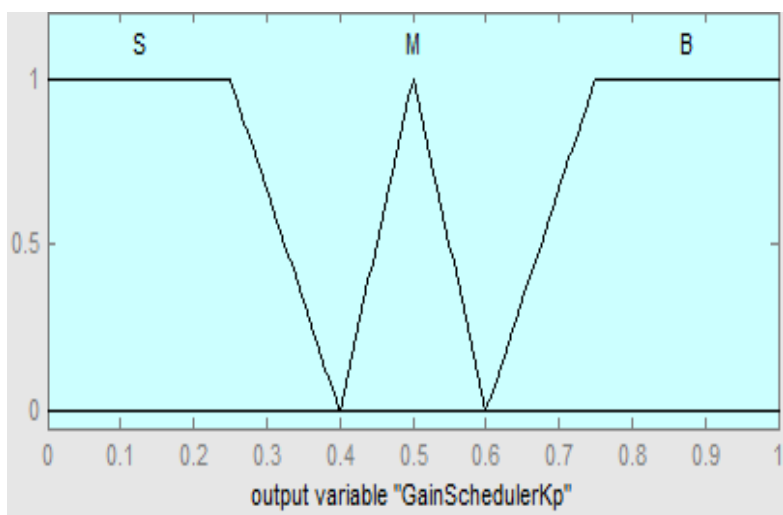
Gambar 3.19 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKi range 0-3



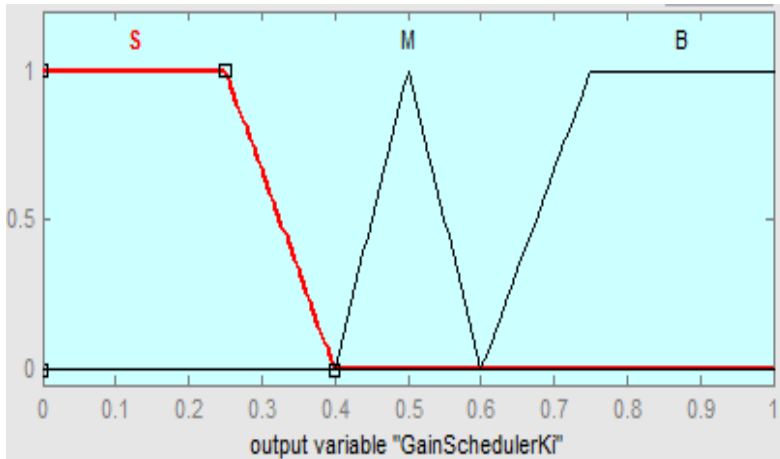
Gambar 3.20 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKp range 0-2



Gambar 3.21 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKi range 0-2



Gambar 3.22 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKp range 0-1



Gambar 3.23 Fungsi keanggotaan GainSchedulerKi range 0-1

3.5.3 Perancangan Aturan *Rules Fuzzy*

Perancangan aturan *rules fuzzy* dapat dilakukan dengan hanya membutuhkan pengalaman atau keahlian perancangannya. Dalam tugas akhir ini terdapat 16 aturan *rules* dalam logika fuzzy dengan *IF – Then* yang ditunjukkan oleh tabel 3.7 untuk Kp dan tabel 3.8 untuk Ki

Tabel 3.7 Aturan *rules fuzzy* untuk *gain scheduler Kp*

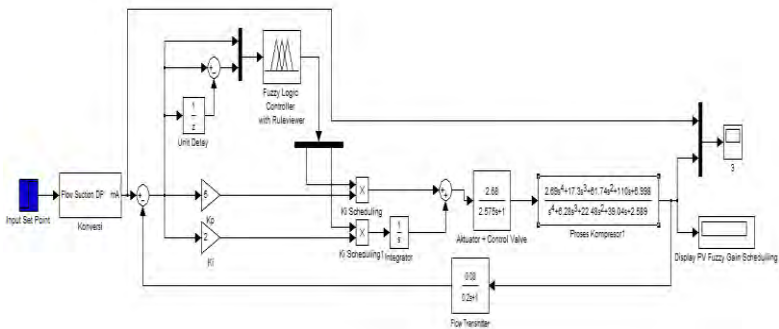
Delta Error	NB	Z	PK	PB
Error				
NB	B	B	B	B
Z	S	S	S	S
PK	M	M	M	M
PB	B	B	B	B

Tabel 3.8 Aturan *rules* fuzzy untuk *gain scheduler* Ki

Delta Error	NB	Z	PK	PB
Error	NB	Z	PK	PB
NB	B	B	B	B
Z	S	S	S	S
PK	M	M	M	M
PB	B	B	B	B

3.6 Diagram Blok Perancangan Fuzzy Gain Scheduling-PI

Hasil pemodelan yang telah dilakukan selanjutnya disusun menjadi sebuah diagram blok Fuzzy Gain Scheduling-PI. Dibawah ini merupakan diagram blok Fuzzy Gain Scheduling hasil perancangan.

**Gambar 3.24** Diagram blok simulink Fuzzy Gain Scheduling-PI

3.7 Simulasi Perbandingan Pengendali FGS – PI dan PI

Pada simulasi ini nilai K_p dan K_i ditentukan dari sinyal masukan *error* dan *difference error* sehingga respon *plant* diharapkan dapat memberikan hasil yang baik dari pada respon

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL SIMULASI

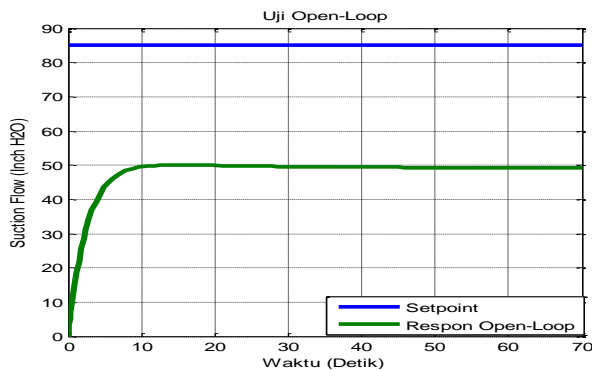
Pada bab ini akan dibahas tentang hasil simulasi dan uji performansi. Pembahasan difokuskan pada performansi sistem berdasarkan parameter kualitatif dan kuantitatif karakteristik respon transien dari Fuzzy Gain Scheduling-PI seperti *rise time*, *settling time*, dan *max.overshoot*. Untuk selanjutnya penulisan Fuzzy Gain Scheduling-PI akan diubah menjadi FGS-PI.

4.1 Simulasi dan Uji Performansi

Pada subbab ini akan dibahas hasil simulasi rancangan pengendali FGS – PI untuk *antisurge* kompresor. Uji performansi dilakukan dengan membandingkan karakteristik respon transien dari FGS – PI dan PI *real plant*. Pengujian dilakukan dengan uji *open-loop*, *closed-loop*, uji *tracking setpoint*, dan uji *antisurge* pada *plant* yang ditampilkan dalam kurva pengendalian *surge*.

4.2 Uji Open-Loop

Uji *open-loop* digunakan untuk menguji bagaimana respon *plant* jika tidak diberi pengendali. Dari gambar 4.1 terlihat bahwa jika *plant* diberi *setpoint* sebesar 85 inch H₂O maka respon *plant* tidak mencapai nilai *setpoint* yang diberikan tersebut sehingga perlu adanya perancangan pengendali



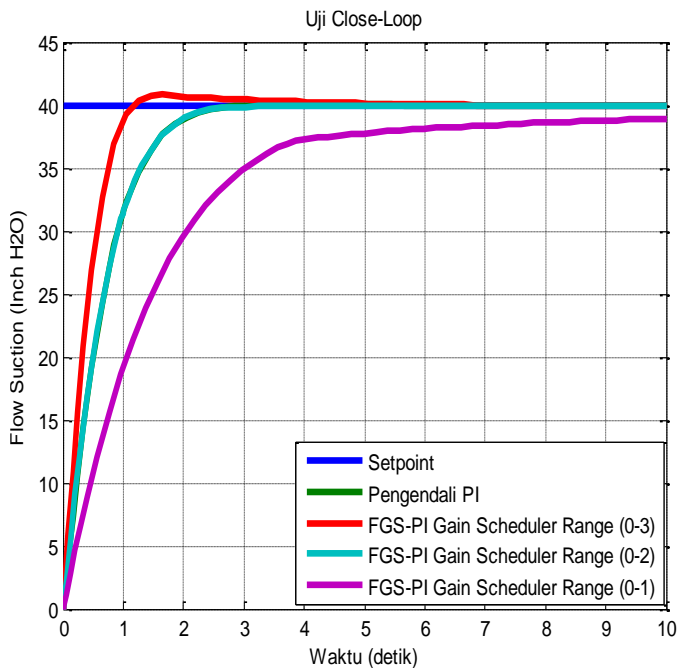
Gambar 4.1 Uji respon *plant* secara *open-loop*

4.3 Uji Close – Loop

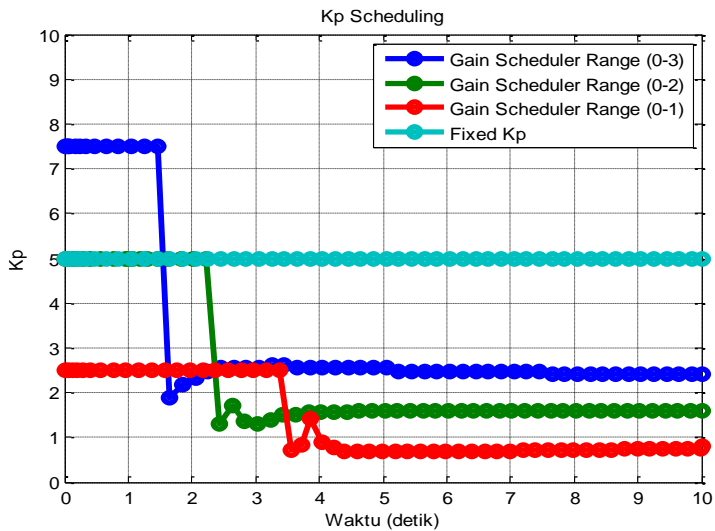
Dalam uji *close – loop* ini akan dibandingkan antara pengendali FGS – PI dan PI. Pengujian dilakukan pada 5 *setpoint* berbeda yaitu 40 Inch H₂O, 50 Inch H₂O, 60 Inch H₂O, 70 Inch H₂O dan 85 Inch H₂O. Pengujian pada *setpoint* diatas agar diketahui karakteristik respon transiennya seperti *rise time*, *settling time*, dan *max.overshoot*. Untuk pengendali FGS-PI diuji dengan *Range gain scheduler* yang berbeda yaitu *range* (0-1), *range* (0-2), dan *range* (0-3). Untuk pengendali PI menggunakan gain pengendali PI *real plant* yaitu 5 untuk K_p dan 2 untuk K_i.

4.3.1 Uji Close-Loop Setpoint 40 Inch H₂O

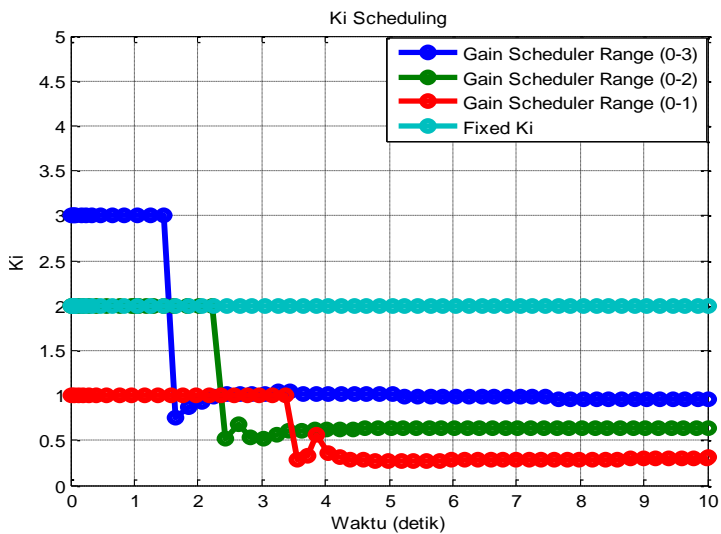
Dibawah ini merupakan respon pengendali FGS-PI dan PI pada *setpoint* 40 Inch H₂O



Gambar 4.2 Uji respon *closed – loop* pada *setpoint* 40 Inch H₂O



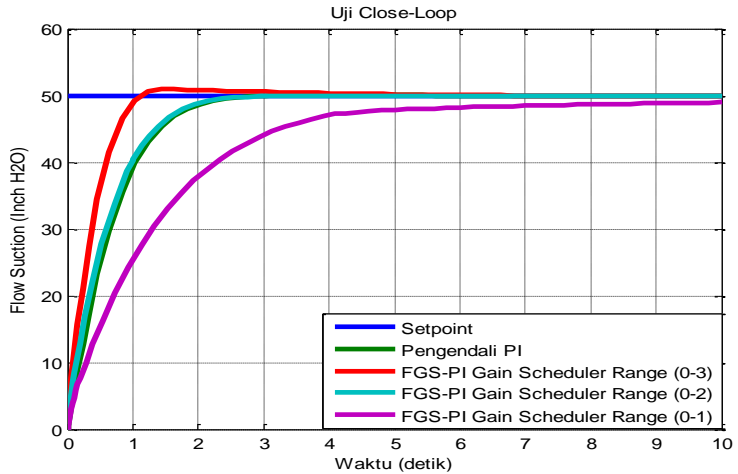
Gambar 4.3 K_p Scheduled 40 Inch H2O



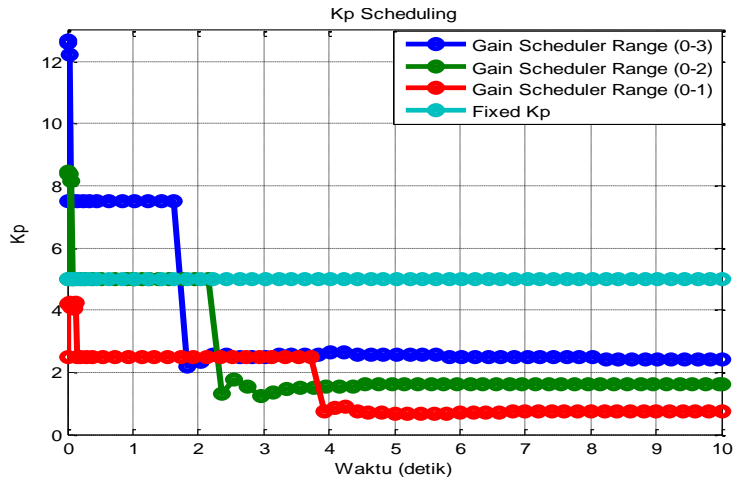
Gambar 4.4 K_i Scheduled 40 Inch H2O

4.3.2 Uji *Close-Loop Setpoint* 50 Inch H2O

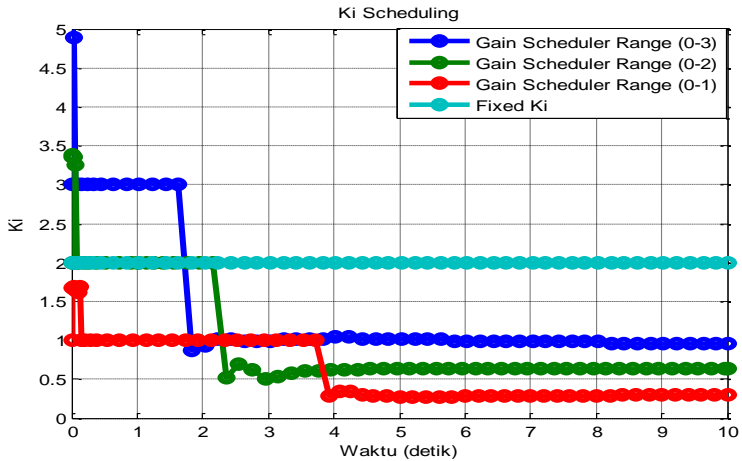
Dibawah ini merupakan respon pengendali FGS-PI dan PI pada *setpoint* 50 Inch H2O



Gambar 4.5 Uji respon *closed – loop* pada *setpoint* 50 Inch H2O



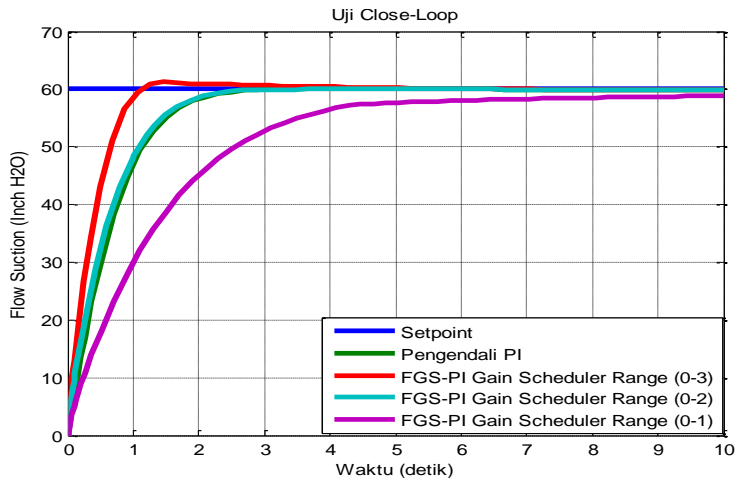
Gambar 4.6 *Kp Scheduled* 50 Inch H2O



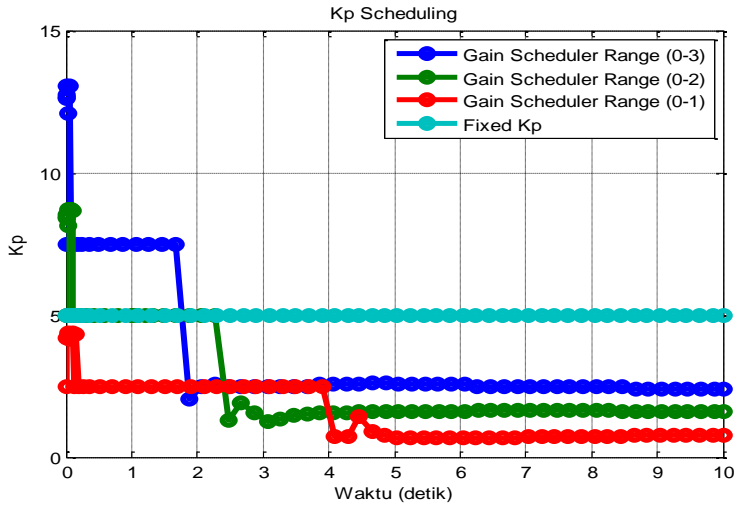
Gambar 4.7 *Ki Scheduled 50 Inch H2O*

4.3.3 Uji *Close-Loop Setpoint 60 Inch H2O*

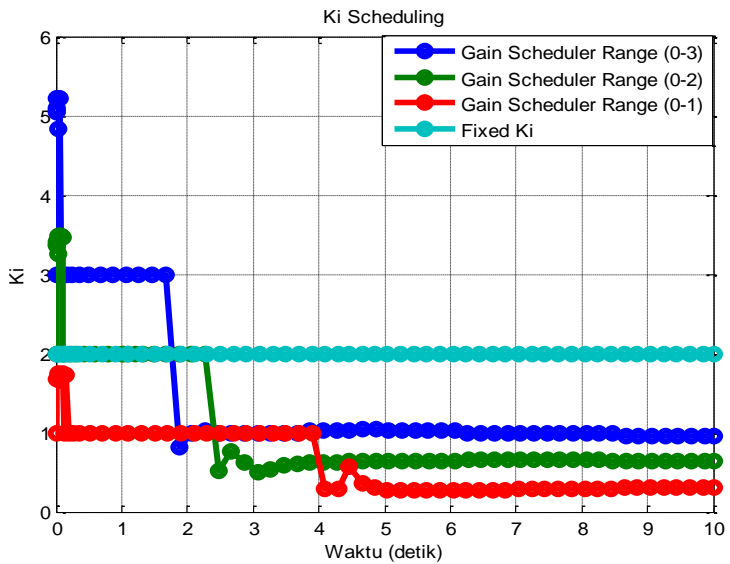
Dibawah ini merupakan respon pengendali FGS-PI dan PI pada *setpoint* 60 Inch H2O.



Gambar 4.8 Uji respon *closed – loop* pada *setpoint* 60 Inch H2O



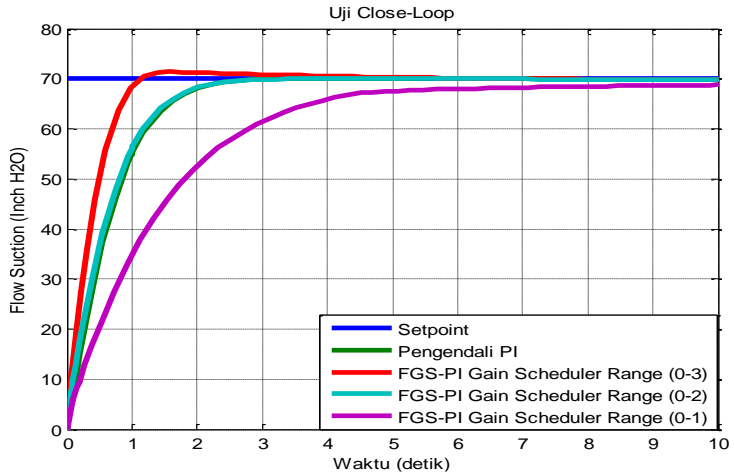
Gambar 4.9 *Kp Scheduled 60 Inch H2O*



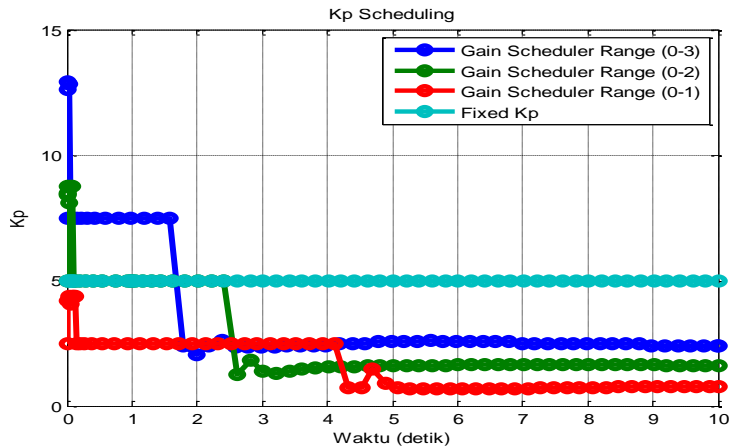
Gambar 4.10 *Ki Scheduled 60 Inch H2O*

4.3.4 Uji *Close-Loop Setpoint* 70 Inch H2O

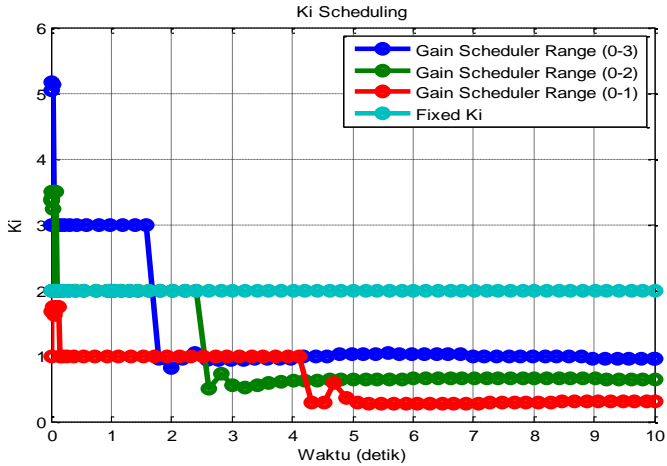
Dibawah ini merupakan respon pengendali FGS-PI dan PI pada *setpoint* 70 Inch H2O



Gambar 4.11 Uji respon *closed – loop* pada *setpoint* 70 Inch H2O



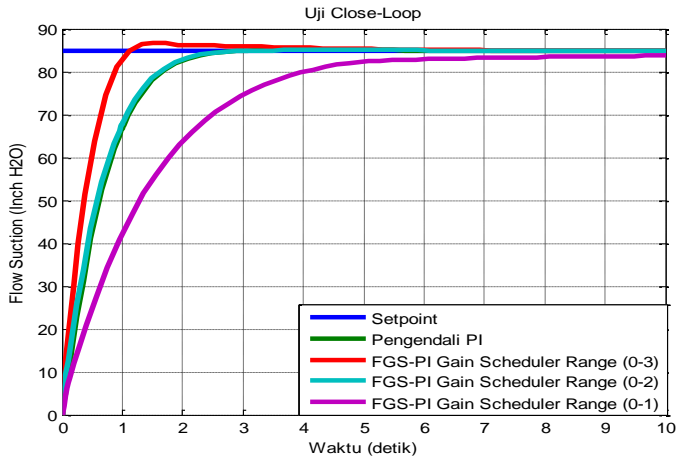
Gambar 4.12 Kp *Scheduled* 70 Inch H2O



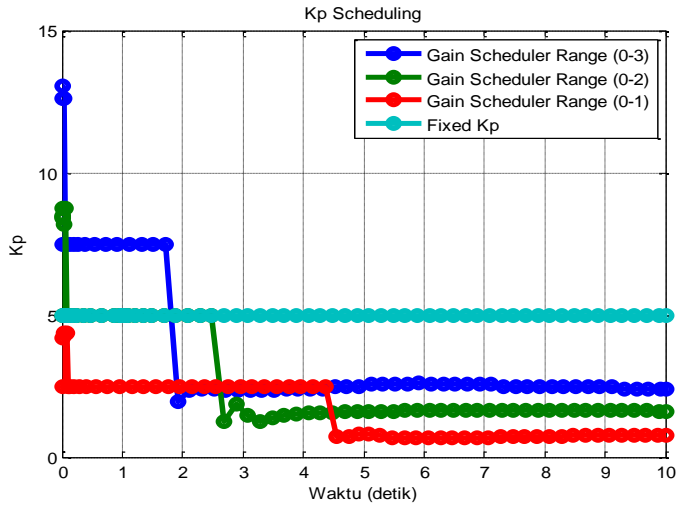
Gambar 4.13 *Ki Scheduled* 70 Inch H₂O

4.3.5 Uji *Close-Loop Setpoint* 85 Inch H₂O

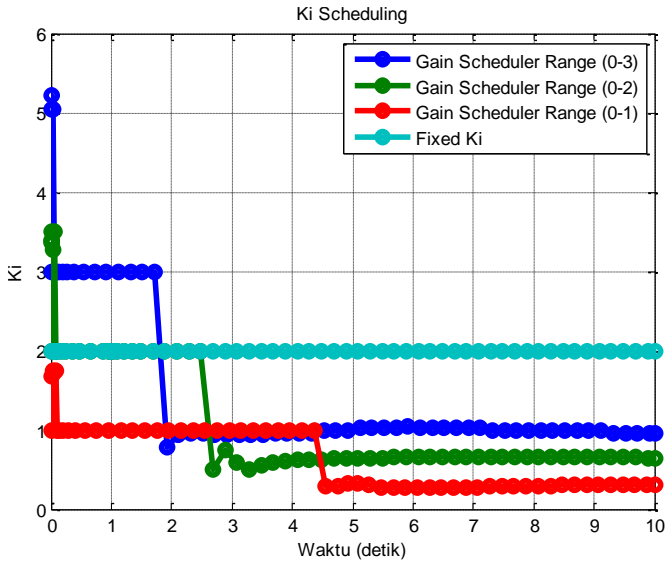
Dibawah ini merupakan respon pengendali FGS-PI dan PI pada *setpoint* 85 Inch H₂O



Gambar 4.14 Uji respon *closed – loop* pada *setpoint* 85 Inch H₂O



Gambar 4.15 Kp Scheduled 85 Inch H2O



Gambar 4.16 Ki Scheduled 85 Inch H2O

4.3.6 Karakteristik Respon Transien Uji *Close-Loop*

Tabel 4.1 dibawah ini merupakan hasil respon pengendali FGS-PI dan PI dari hasil uji *close-loop*.

Tabel 4.1 Karakteristik respon transien uji *Close-Loop*

Setpoint	Transient Response	Fuzzy Gain Scheduling-PI			PI
		Gain Range (0-1)	Gain Range (0-2)	Gain Range (0-3)	Gain Fixed
40 Inch H2O	<i>Rise Time</i> (detik)	3.16	1.30	0.74	1.31
	<i>Time Settling</i> (detik)	8.19	2.13	1.59	2.14
	<i>Max Overshoot</i> %	0	0	2.04	0.11
50 Inch H2O	<i>Rise Time</i> (detik)	3.15	1.29	0.73	1.32
	<i>Time Settling</i> (detik)	5.53	2.08	1.58	2.13
	<i>Max Overshoot</i> %	0	0.05	2.06	0.11
60 Inch H2O	<i>Rise Time</i> (detik)	3.15	1.29	0.73	1.31
	<i>Time Settling</i> (detik)	5.56	2.09	1.50	2.15
	<i>Max Overshoot</i> %	0	0.11	2.02	0.11

70 Inch H2O	<i>Rise Time (detik)</i>	3.16	1.30	0.73	1.31
	<i>Time Settling (detik)</i>	5.56	2.09	1.50	2.15
	<i>Max Overshoot %</i>	0	0.11	2.02	0.11
85 Inch H2O	<i>Rise Time (detik)</i>	3.16	1.30	0.74	1.31
	<i>Time Settling (detik)</i>	5.56	2.09	1.03	2.14
	<i>Max Overshoot %</i>	0	0.12	1.97	0.10

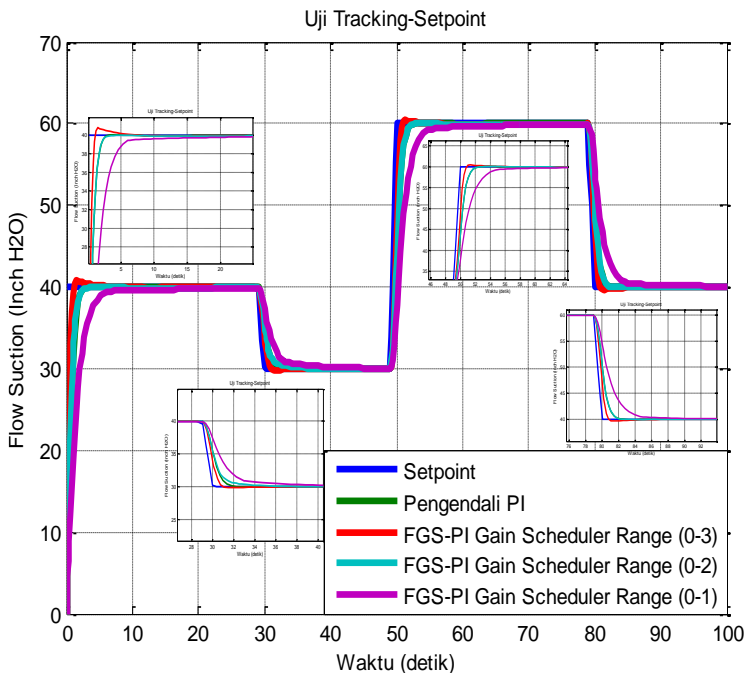
Dari hasil uji respon *close-loop* diatas dapat dijelaskan bahwa *Gain scheduler* dengan *range* 0-1 memiliki performansi yang kurang baik hal ini terjadi akibat *scheduling* K_p dan K_i yang kecil sehingga responnya juga lambat. Sehingga *gain scheduler* dengan *range* tersebut tidak cocok digunakan pada sistem *antisurge*.

Jika dilihat dari *gain scheduler* dengan *range* 0-2 memiliki performansi yang hampir sama dengan pengendali PI *real plant* jika dilihat dari gambar-gambar diatas dan tabel 4.1. Hal ini dikarenakan proses *scheduling* berada pada rentang yang hampir sama dengan pengendali PI *real plant* sehingga respon pengendalinya hampir sama.

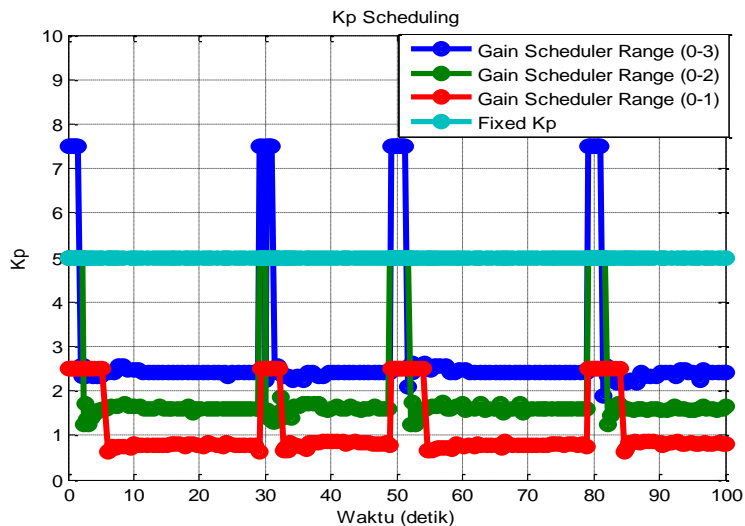
Dari hasil uji *close-loop* diatas bahwa *range gain scheduler* dengan performansi terbaik berada pada *range* 0-3. Berdasarkan hasil diatas terlihat bahwa respon pengendali FGS-PI dengan *range gain scheduler* 0-3 memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI *real plant* walaupun pengendali FGS-PI memiliki *max.overshoot* yang sangat kecil

4.4 Uji *Tracking Setpoint*

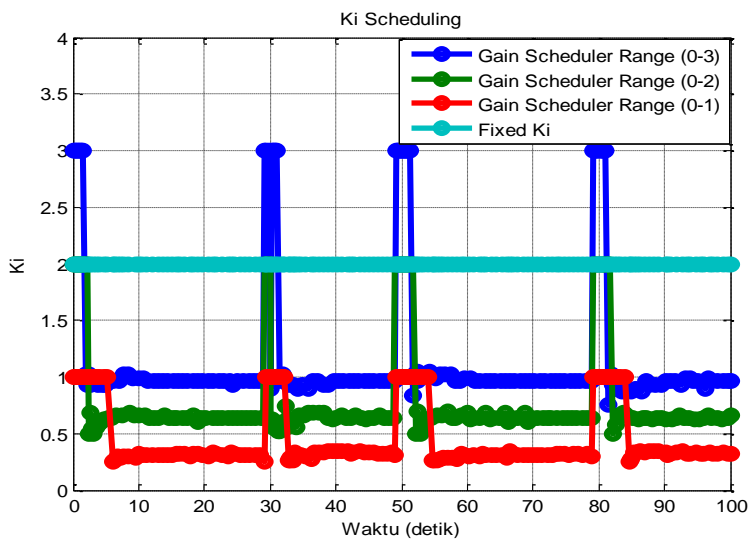
Pada pengujian ini respon pengendali diuji ketika ada perubahan *setpoint*. Pengujian *tracking setpoint* dilakukan dengan pemberian *setpoint* naik-turun untuk mengetahui performansi sistem kendali ketika *flow* bagian *suction* mengalami kekurangan. Pengujian dilakukan dengan perubahan nilai *setpoint*. Pertama diberi nilai *setpoint* 40 Inch H₂O kemudian 30 Inch H₂O kemudian 60 Inch H₂O dan tera khir 40 Inch H₂O. Nilai *setpoint* diberikan berubah-ubah yang bertujuan untuk mengetahui dan melihat respon dari sistem pengendali pada pada nilai *setpoint* yang berubah – ubah. Respon hasil uji *tracking setpoint* disajikan pada gambar 4.5 berikut;



Gambar 4.17 Uji *tracking setpoint* FGS – PI dan PI



Gambar 4.18 *Kp Scheduled setpoint tracking*



Gambar 4.19 *Ki Scheduled setpoint tracking*

4.4.1 Karakteristik Respon Transien Uji *Tracking Setpoint*

Pada gambar 4.5 terlihat respon kedua pengendali mencapai nilai *setpoint* yang diberikan tetapi jika dilihat dari karakteristik respon transiennya, pengendali FGS-PI dengan *range gain scheduler* 0-3 memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI. Untuk dapat lebih lanjut membandingkan karakteristik respon transien antara kedua maka dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai pembanding karakteristik respon transien antara pengendali PI dengan pengendali FGS-PI. Tabel 4.2 dibawah ini merupakan parameter – parameter kualitatif dan kuantitatif dari karakteristik respon transien.

Tabel 4.2 Karakteristik respon transien uji *tracking setpoint*

Setpoint	Transient Response	Fuzzy Gain Scheduling-PI			PI
		Gain Range (0-1)	Gain Range (0-2)	Gain Range (0-3)	Gain Fixed
0 Ke 40 Inch H2O	<i>Rise Time</i> (detik)	3.16	1.30	0.74	1.31
	<i>Time Settling</i> (detik)	8.19	2.13	1.59	2.14
	<i>Max Overshoot</i> %	0	0	2.04	0.11
40 Ke 30 Inch H2O	<i>Rise Time</i> (detik)	1.55	0.69	0.40	0.71
	<i>Time Settling</i> (detik)	3.63	1.28	0.51	1.32
	<i>Max Overshoot</i> %	0	2.3	1.7	0.13

30 Ke 60 Inch H₂O	<i>Rise Time</i> (detik)	1.76	0.53	0.23	0.50
	<i>Time Settling</i> (detik)	4.2	1.45	0.7	1.50
	<i>Max Overshoot</i> %	0	0.04	0.56	0.11
60 Ke 40 Inch H₂O	<i>Rise Time</i> (detik)	3.3	1.35	0.75	1.36
	<i>Time Settling</i> (detik)	4.24	1.51	0.62	1.48
	<i>Max Overshoot</i> %	0	0	1.17	0.11

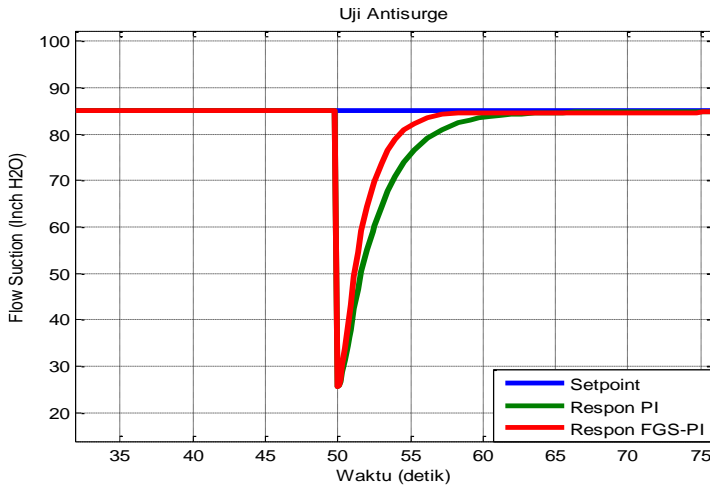
Berdasarkan tabel diatas bahwa respon pengendali FGS-PI dengan *range gain scheduler* 0-3 memiliki performansi yang lebih baik dari pada pengendali PI terutama jika dilihat dari *rise time* yaitu waktu naik dari 10% *setpoint* ke 90% *setpoint*. Pada *antisurge* waktu *rise time* yang cepat sangat diperlukan agar membawa titik operasi kompresor dari keadaan *surge* ke daerah operasi normal dengan cepat. Dengan demikian waktu *rise time* yang dengan *gain scheduler* lainnya tidak cocok digunakan karena hanya akan memperlambat pembawaan titik operasi kompresor dari titik *surge* ke daerah operasi normal walaupun jika dilihat dari grafik diatas kedua pengendali mampu mencapai *setpoint*.

4.5 Uji *Antisurge*

Pada pengujian ini sistem pengendalian *antisurge* diuji dengan pemberian gangguan dalam bentuk sinyal step pada *flow suction* pada saat waktu (detik) yang telah ditentukan yaitu detik ke-50. Pengujian dilakukan dengan membandingkan respon atau tanggapan kedua pengendali yaitu FGS-PI dengan *range gain scheduler* 0-3 dan PI yang nanti hasilnya berupa grafik respon

dalam waktu dan tabel pembandingan karakteristik respon transien. Pengujian juga dilakukan dengan menampilkan hasil tersebut dalam bentuk *setpoint surge control* telah modelkan pada bab metodologi.

Dalam teori pengendalian *surge* daerah yang diperbolehkan titik operasi kompresor untuk beroperasi adalah sebelah kanan garis *surge limit* dan garis *surge control* sedangkan jika titik operasi kompresor berada pada sebelah kiri garis-garis tersebut maka akan terjadi *surge*. Sehingga pada pengendalian *surge* diperlukan respon pengendali yang cepat untuk membawa titik operasi kompresor ke sebelah kanan garis-garis tersebut ketika gejala *surge* mulai terjadi yaitu kekurangan *flow* pada bagian *suction*. Analisa yang terpenting pada pengujian ini adalah analisa waktu yang dibutuhkan titik operasi kompresor dari daerah *surge* sampai daerah operasi yang diperbolehkan yaitu dengan mengandalkan garis *surge limit* dan garis *surge control*. Pada gambar 4.20 disajikan grafik respon pengendalian pengujian *antisurge* dengan pemberian gangguan sinyal step dengan *initial value* sebesar 1 dan *final value* 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, dan 0.3 pada saat detik ke-50



Gambar 4.20 Uji *antisurge*

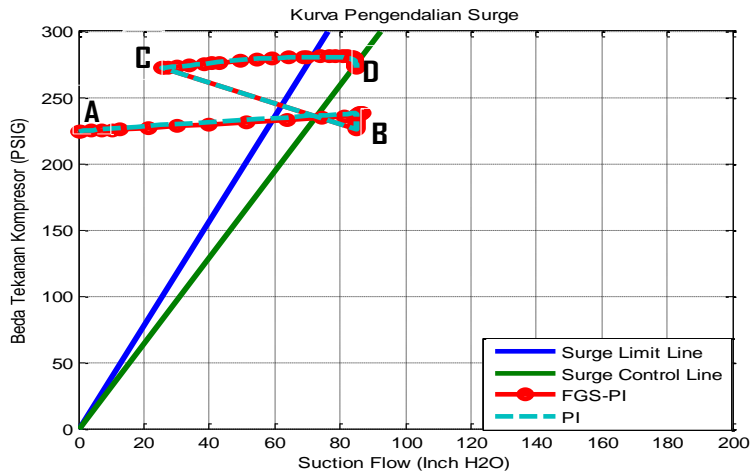
Dari gambar 4.20 diatas terlihat bahwa respon kedua pengendali ketika diberi sinyal gangguan berupa step mampu mencapai *setpoint*. Tetapi jika diteliti lebih lanjut, pengendali FGS-PI memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI. Pengendali FGS-PI memiliki waktu *rise time* dan *settling time* yang lebih rendah dibandingkan dengan pengendali PI. Sedangkan untuk *overshoot* tidak ada. Tabel 4.3 dibawah ini menunjukan perbandingan karakteristik respon transien antara pengendali FGS-PI dan pengendali PI.

Tabel 4.3 Uji *antisurge* dengan *setpoint* 85 Inch H2O

Setpoint	Final Value	Tanggapan Transient	FGS – PI	PI
85 Inch H2O	0.7 (59.5 Inch H2O)	<i>Rise Time (detik)</i>	1.64	2.51
		<i>Time Settling (detik)</i>	1.76	2.81
		<i>Max Overshoot %</i>	0	0
85 Inch H2O	0.6 (51 Inch H2O)	<i>Rise Time (detik)</i>	1.75	2.70
		<i>Time Settling (detik)</i>	2.26	3.69
		<i>Max Overshoot %</i>	0	0
85 Inch H2O	0.5 (42.5 Inch H2O)	<i>Rise Time (detik)</i>	1.92	2.95
		<i>Time Settling (detik)</i>	3.01	4.84
		<i>Max Overshoot %</i>	0	0
		<i>Rise Time (detik)</i>	2.35	3.5

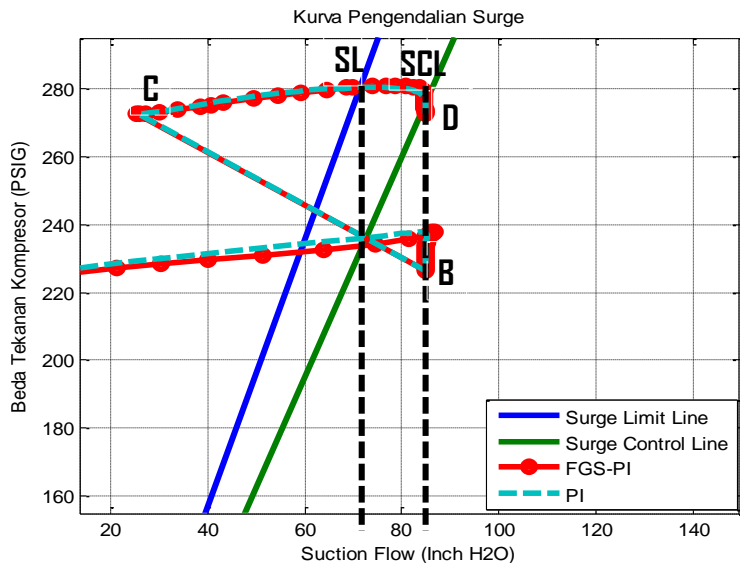
85 Inch H2O	0.4 (34 Inch H2O)	Time Settling (detik)	4.13	6.54
		Max Overshoot %	0	0
85 Inch H2O	0.3 (25.5 Inch H2O)	Rise Time (detik)	3.25	5.75
		Time Settling (detik)	6.02	9.45
		Max Overshoot %	0	0

Pengujian dilanjutkan dengan analisa titik operasi kompresor yaitu waktu yang dibutuhkan titik operasi dari keadaan *surge* sampai keadaan operasi normal. Gambar 4.21 menunjukan analisa pengendalian *surge* dengan peningkatan temperatur discharge. Menurut teori bahwa temperatur discharge meningkat akan menyebabkan beda tekanan kompresor meningkat yang akan menyebabkan *surge*. Gambar 4.21 dibawah ini menunjukan analisa pengendalian *surge* dengan peningkatan temperatur *discharge*.



Gambar 4.21 Analisa pengendalian *surge* dengan *final value* 0.3

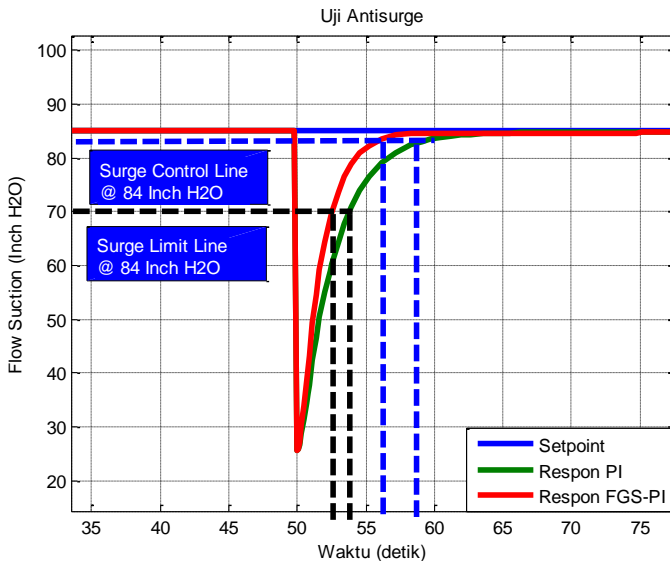
Titik A merupakan titik awal respon pengendali untuk mencapai *setpoint* yaitu 85 Inch H₂O. Titik B merupakan titik operasi kompresor dengan kondisi operasi 85 Inch H₂O dan beda tekanan 226.2 PSIG. Titik C merupakan titik dimana kompresor berada pada daerah operasi terlarang. Titik D merupakan titik operasi kompresor yang telah dikendalikan dari keadaan *surge*. Yaitu atau 25.5 Inch H₂O dan beda tekanan 272.7 PSIG. Pada simulasi ini temperature *discharge* dibuat meningkat agar sesuai dengan keadaan *surge* yaitu beda tekanan meningkat dan *flow suction* berkurang. Analisa dilakukan dengan melihat respon kedua pengendali yaitu ketika titik operasi kompresor dari keadaan *surge* atau titik C menuju titik D. Perbesaran gambar 4.21 disajikan pada gambar 4.22



Gambar 4.22 Perbesaran gambar 4.21

Dari gambar 4.22 terlihat titik operasi kompresor dengan pengendali PI yaitu jalur C-SL-SCL-D sedangkan titik operasi kompresor dengan pengendali FGS-PI adalah sama jalur C-SL-

SCL-D. Analisa dilakukan pada waktu tempuh dari titik C meninggalkan daerah *surge* yang dibatasi dengan *surge limit* (warna biru tua) dan garis *surge control*. Untuk menganalisa masalah tersebut diperlukan grafik respon seperti gambar 4.20 dengan memperbesar gambar tersebut. Gambar 4.23 merupakan analisa waktu tempuh titik C menuju garis *surge limit* dan *surge control* dari gambar 4.22



Gambar 4.23 Analisa waktu tempuh titik C menuju garis *surge limit* dan *surge control* dengan *final value* 0.3

Dari kurva pengendalian *surge* didapatkan bahwa kedua titik operasi meninggalkan garis *surge limit* pada 70 Inch H2O dan meninggalkan garis *surge control* pada 84 Inch H2O. Dengan demikian untuk menghitung waktu tempuh dari titik C menuju garis *surge limit* dan *surge control* maka dapat dilihat dari gambar 4.23 yaitu tanggapan transien dari kedua pengendali. Grafik respon ditarik garis dengan waktu dan *flow*. Garis hitam putus-putus merupakan waktu tempuh titik operasi untuk kedua pengendali

sedangkan garis biru putus-putus merupakan waktu tempuh titik operasi untuk kedua pengendali. Perbandingan waktu tempuh antara pengendali FGS-PI dan pengendali PI dengan *final value* 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, dan 0.7 disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan waktu tempuh titik C untuk mencapai garis *surge limit* dan garis *surge control*

Setpoint	Final Value	Titik Surge Ke -	FGS – PI	PI
85 Inch H2O	0.3 (25.5 Inch H2O)	Garis Surge Limit	2.48 Detik	3.79 Detik
		Garis Surge Control	6.78 Detik	11.12 Detik
85 Inch H2O	0.4 (34 Inch H2O)	Garis Surge Limit	1.70 Detik	2.55 Detik
		Garis Surge Control	4.85 Detik	7.58 Detik
85 Inch H2O	0.5 (42.5 Inch H2O)	Garis Surge Limit	1.22 Detik	1.78 Detik
		Garis Surge Control	3.45 Detik	5.65 Detik
85 Inch H2O	0.6 (51 Inch H2O)	Garis Surge Limit	0.88 Detik	1.24 Detik
		Garis Surge Control	2.60 Detik	4.30 Detik

85 Inch H2O	0.7 (59.5 Inch H2O)	Garis Surge Limit	0.58 Detik	0.78 Detik
		Garis Surge Control	1.95 Detik	3.30 Detik

Dari tabel 4.4 terlihat bahwa respon pengendali FGS-PI memiliki waktu tempuh lebih cepat dibandingkan dengan pengendali PI dalam hal membawa titik operasi kompresor dari keadaan *surge* ke keadaan normal. Mengacu pada data dilapangan dan jurnal *international*, untuk kompresor sentrifugal bahwa waktu yang dibutuhkan *surge* untuk menghancurkan kompresor yaitu 5 detik^[15]. Sehingga pemulihan *flow* dari titik *surge* ke garis *surge limit* harus dibawah waktu tersebut. Dari hasil diatas tentang waktu tempuh yang didapat yaitu membawa titik operasi kompresor ke daerah operasi normal maka sudah memenuhi kriteria pengendalian *surge*.

4.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi yang didapat dapat menjawab rumusan masalah yang terdapat di bab pendahuluan. Rumusan masalah pertama tentang bagaimana fenomena *surge* terjadi pada kompresor C-7080. Fenomena *surge* terjadi pada kompresor C-7080 karena beberapa factor diantaranya yang pertama, tekanan discharge sangat tinggi yang menyebabkan rasio tekanan antara *suction* dan *discharge* meningkat. Kedua, Temperatur *discharge* yang sangat tinggi dapat menyebabkan *flow suction* berkurang serta beda tekanan kompresor meningkat. Faktor lainnya yaitu proses berubah seperti *specific gravity* menurun, temperature *suction* meningkat.

Rumusan masalah yang kedua yaitu bagaimana merancang sistem pengendalian *antisurge* berbasis Fuzzy Gain Scheduling-PI. Perancangan sistem pengendalian *antisurge* berbasis Fuzzy Gain Scheduling-PI dirancang melalui tahapan-tahapan. Tahapan

pertama yaitu memodelkan hubungan masukan dan keluaran kompresor. Tahapan kedua adalah melakukan pemodelan *instrument* seperti *control valve* dan *flow transmitter*. Tahapan yang ketiga yaitu merancang pengendali logika fuzzy dengan membuat fungsi keanggotaan masukan dan keluaran serta aturan-aturan fuzzy. Tahapan terakhir adalah melakukan simulasi hasil model serta perancangan.

Rumusan masalah yang ketiga yaitu tentang kinerja sistem pengendalian *antisurge* berbasis Fuzzy Gain Scheduling-PI. Berdasarkan hasil simulasi serta perbandingan antara kedua pengendali didapatkan bahwa pengendali Fuzzy Gain Scheduling-PI yang telah diimplementasikan memiliki kinerja yang lebih baik daripada pengendali PI.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perancangan sistem pengendalian *antisurge* dengan Fuzzy *Gain Scheduling* PI telah berhasil dikerjakan dengan *software* matlab/Simulink r2009a. Dari hasil simulasi dan analisa data serta perbandingan respon antara kedua pengendali dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pemodelan proses menggunakan ARX didapatkan nilai bestfits sebesar 73.19% dengan orde 3, 3 dan 0.
2. Pengendali FGS-PI pada penelitian ini memiliki karakteristik respon transien lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI pada uji *antisurge* dengan gangguan *final value* terendah sebesar 0.3 yang dapat diketahui dari hasil simulasi dan parameter-parameter kualitatif dan kuantitatif seperti *rise time*, *settling time*, dan % overshoot masing-masing bernilai 3.25 detik, 6.02 detik dan 0% untuk FGS-PI sedangkan 5.75. detik, 9.45 detik dan 0% untuk pengendali PI.
3. Dari hasil pengujian *antisurge* dengan gangguan *final value* terendah sebesar 0.3 didapatkan bahwa waktu tempuh titik operasi dengan pengendali FGS-PI dari keadaan *surge* ke garis *surge limit* adalah lebih cepat yaitu 2.48 detik dibandingkan dengan pengendali PI dengan waktu 3.79 detik. Sedangkan waktu tempuh dari keadaan *surge* ke garis *surge control* adalah 6.78 detik untuk FGS-PI dan 11.12 detik untuk pengendali PI

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Karena keterbatasan data, yaitu data yang ada jenisnya *steady-state* dan bukan *dynamic* maka dalam Tugas Akhir ini menggunakan data *steady-state*. Sebaiknya untuk pemodelan ARX menggunakan data *dynamic* pada penelitian berikutnya.

2. Perlu adanya peningkatan dalam perancangan aturan *rules* fuzzy agar dapat memperbaiki respon pengendali FGS-PI yaitu dalam hal *settling time*, *rise time*, dan *overshoot*.

5.3 Rekomendasi

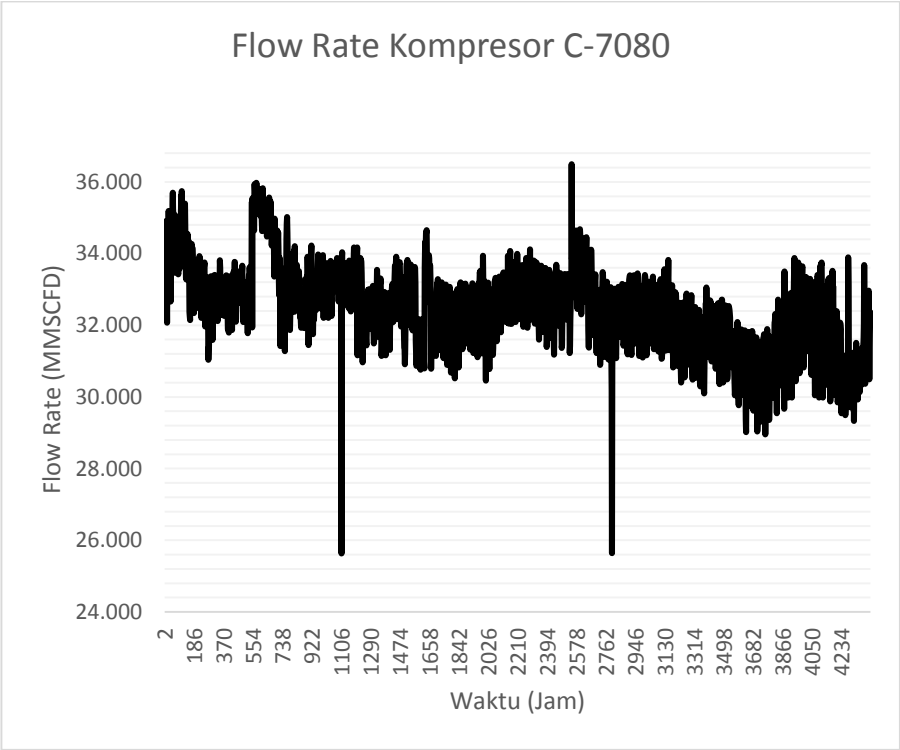
Sistem pengendalian *antisurge* umumnya dipasang di PLC. Oleh karena itu pada rekomendasi ini logika fuzzy dapat diterapkan sangat mudah di dalam PLC tanpa memerlukan adanya peralatan tambahan dan biaya tambahan.

Beberapa PLC sudah terintegrasi dengan logika fuzzy yang memungkinkan penggunaannya dapat memrogram aturan fuzzy dalam PLC. Logika fuzzy yang dihubungkan dengan pengendali PI dapat mengatasi ketidak-linearitas suatu proses.

LAMPIRAN A

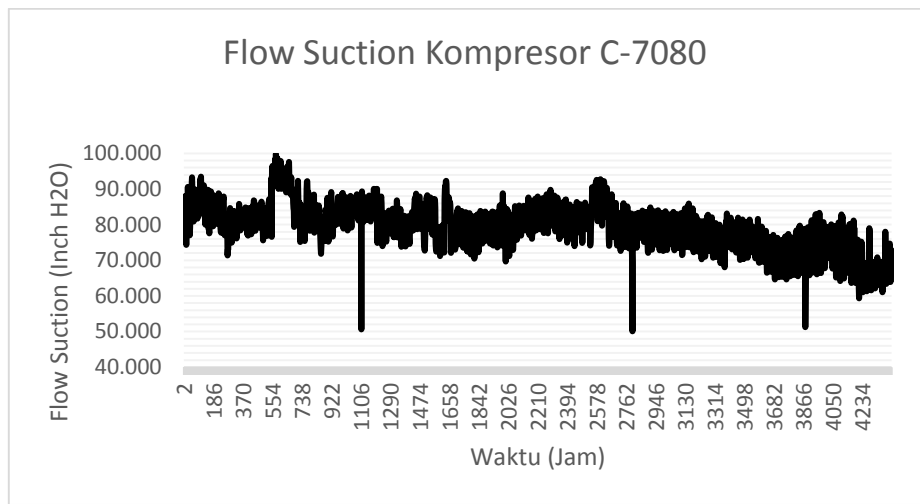
DATA MASUKAN DAN KELUARAN KOMPRESOR
(DARI DCS BADAK COMP. CONTROL ROOM)

A. Data Flow Rate Kompresor



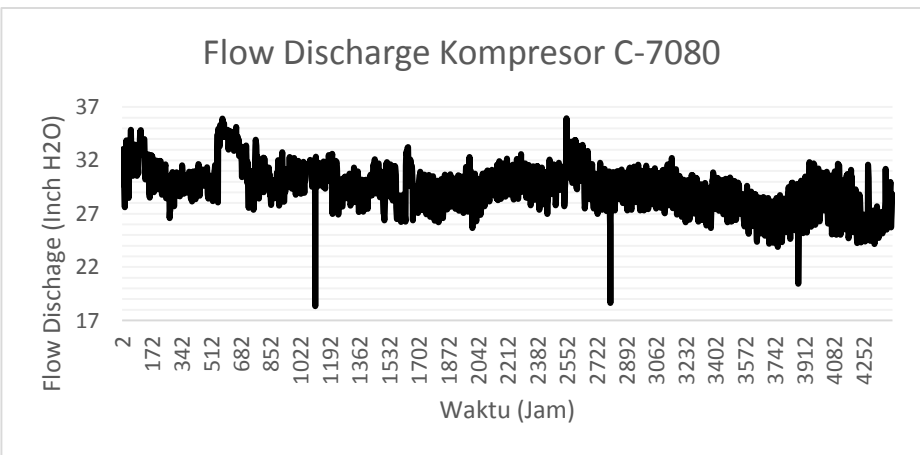
Gambar 1. Flow rate kompresor C-7080 (mmscfd)

B. Data Flow Masukan Kompresor



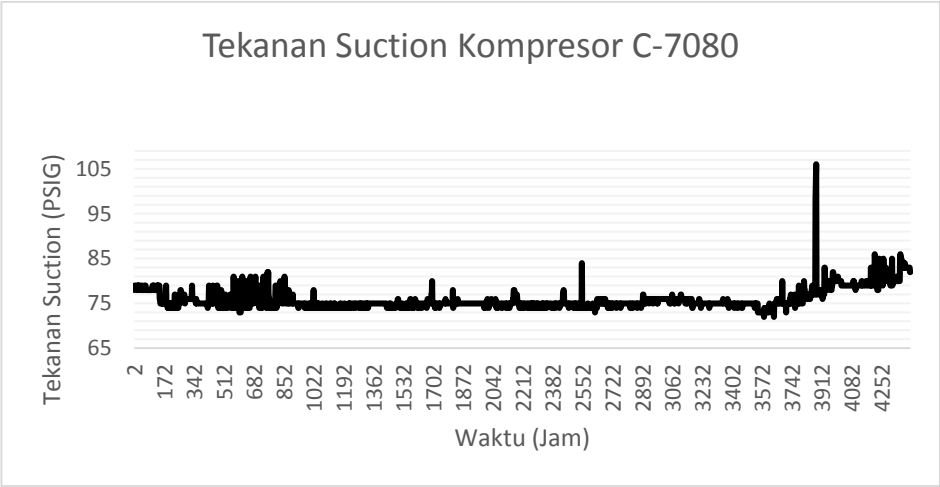
Gambar 2. *Flow suction (Inch H2O)*

C. Data Flow Keluaran Kompresor



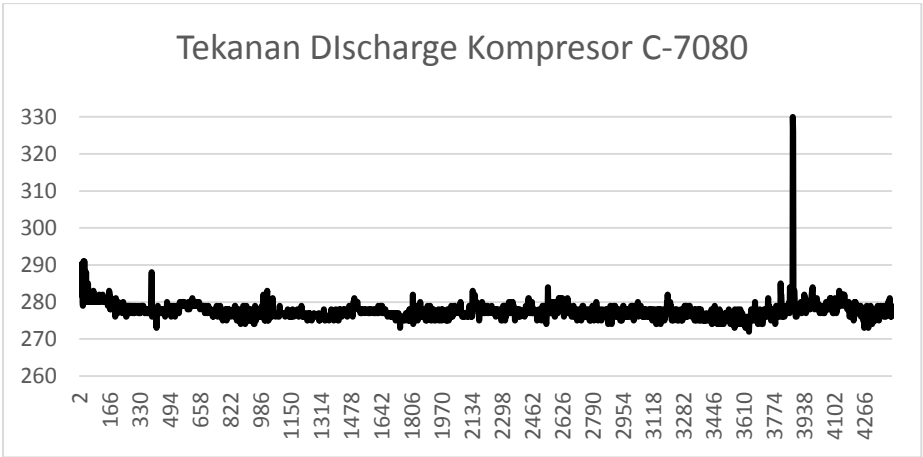
Gambar 3. *Flow discharge (Inch H2O)*

D. Data Tekanan *Suction* Kompresor



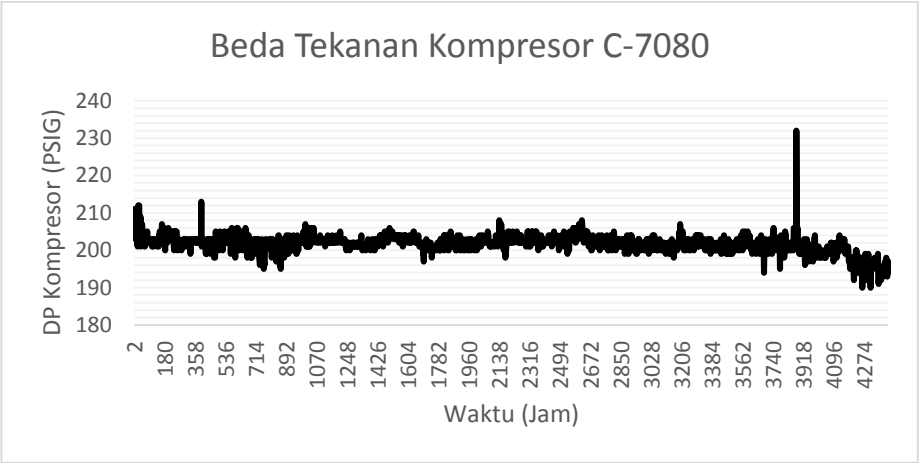
Gambar 4. Tekanan *Suction* (PSIG)

E. Data Tekanan *Suction* Kompresor



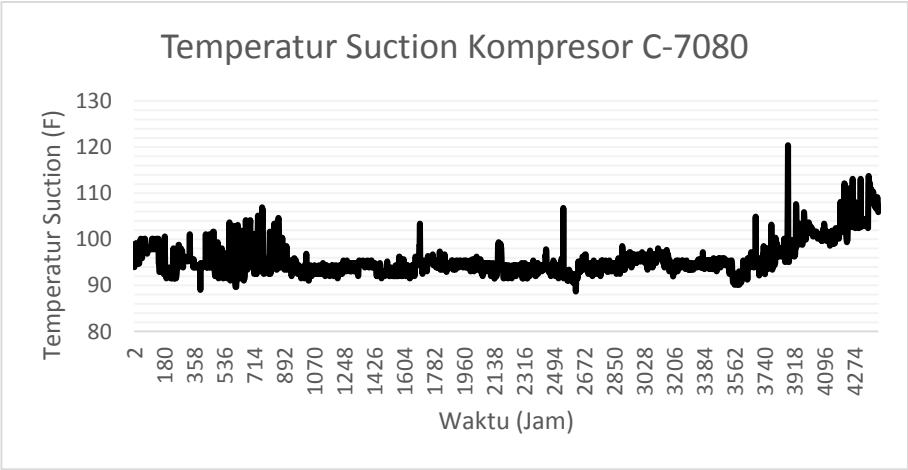
Gambar 5. Tekanan *Discharge* (PSIG)

F. Data Beda Tekanan DP Kompresor



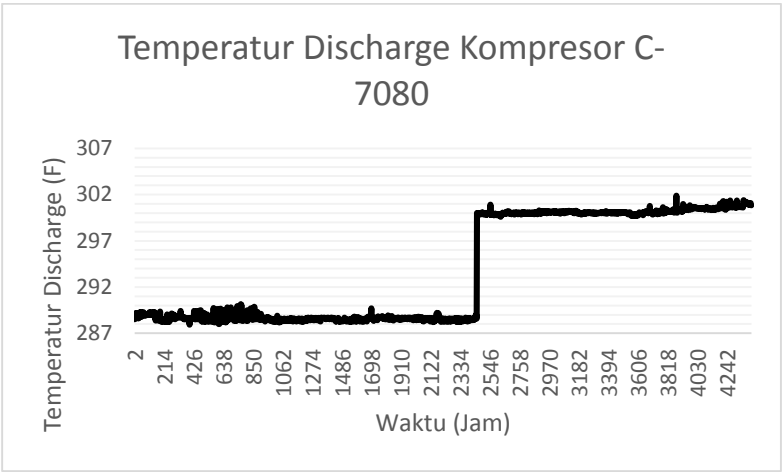
Gambar 6. DP Kompresor (PSIG)

G. Data Temperatur Suction Kompresor



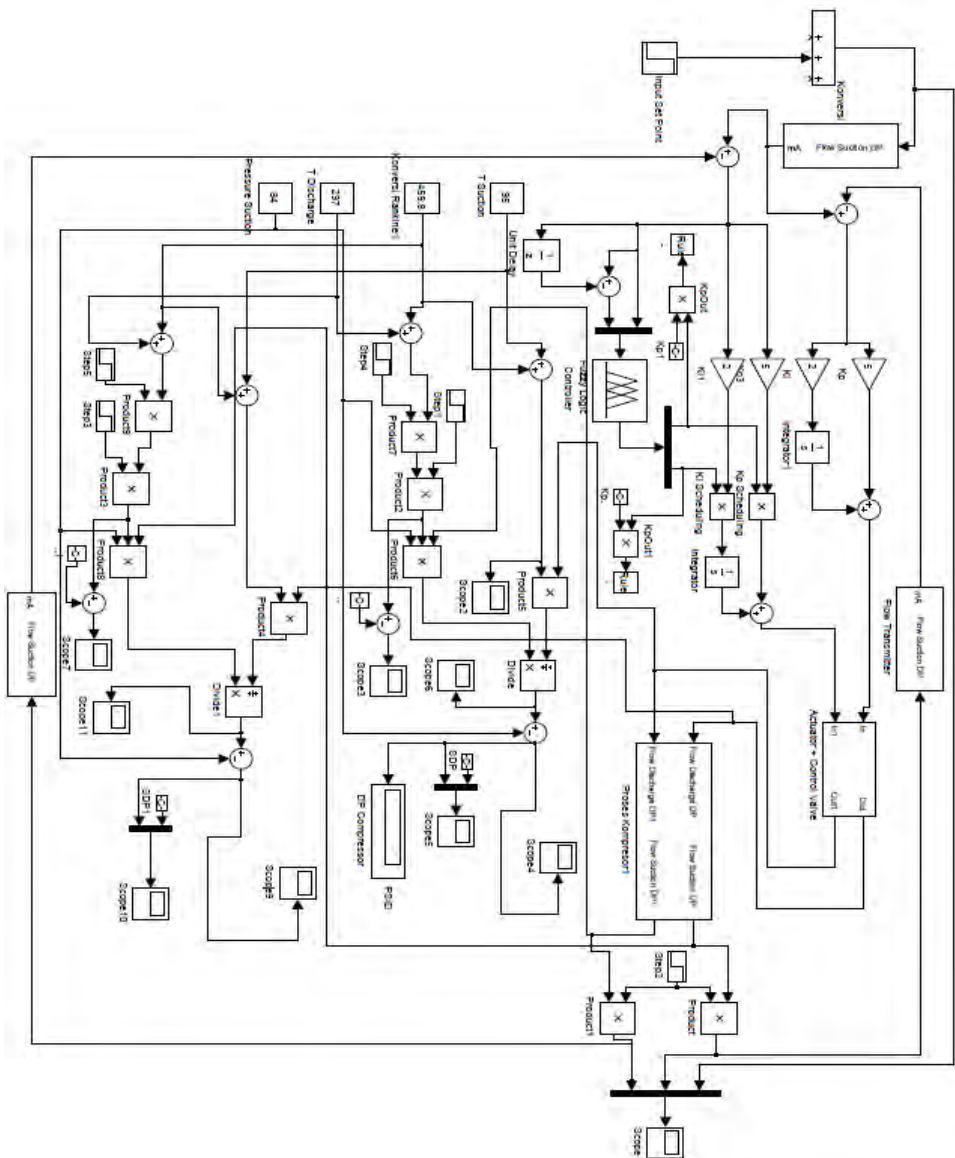
Gambar 7. Temperatur Suction Kompresor (F)

H. Data Temperatur *Discharge* Kompresor

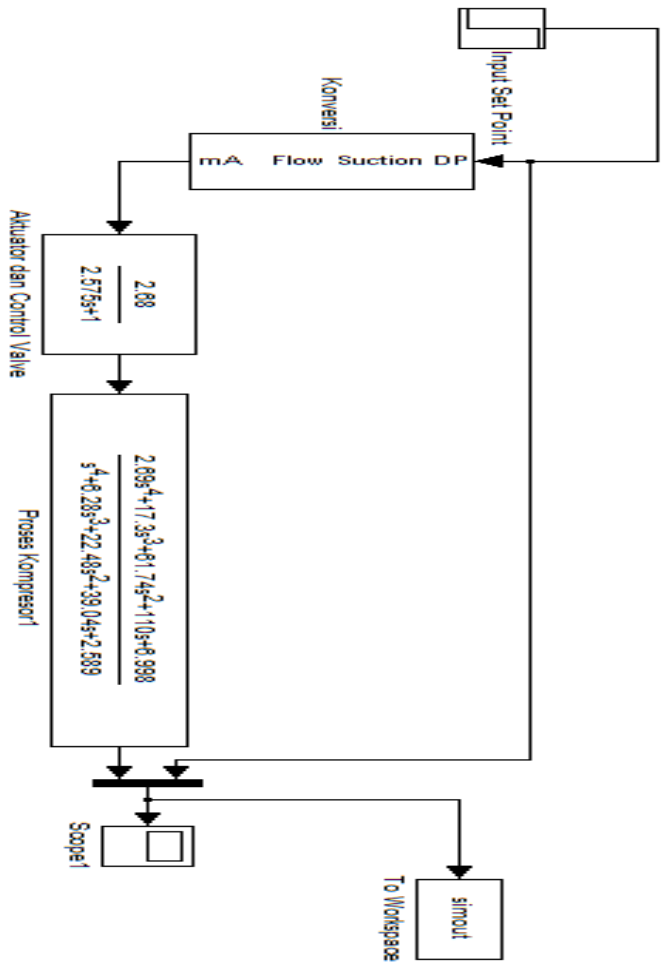


Gambar 8. Temperatur *Discharge* Kompresor (F)

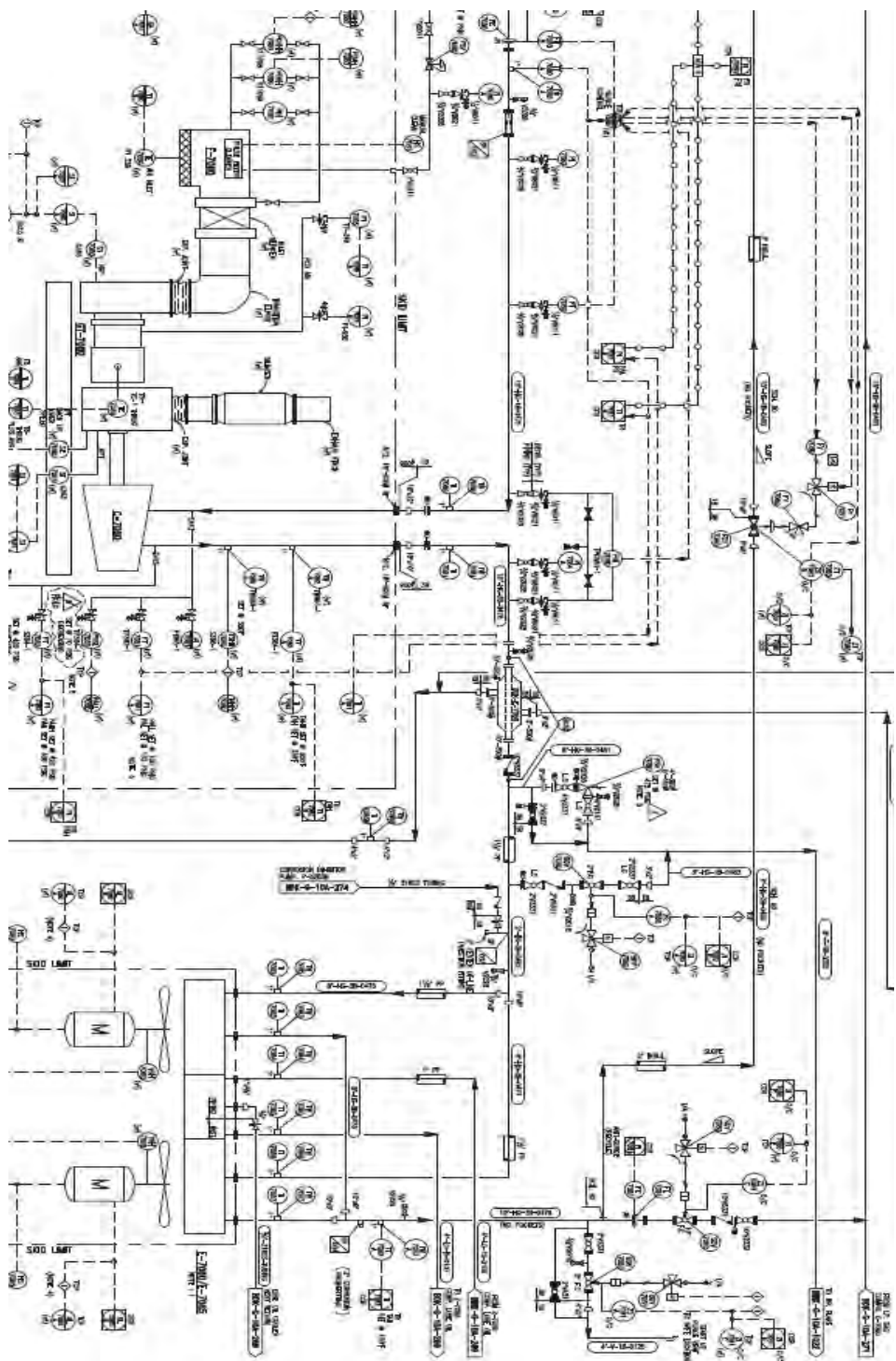
LAMPIRAN B
DIAGRAM BLOK SIMULINK PENGUJIAN *ANTISURGE*



LAMPIRAN C
**DIAGRAM BLOK SIMULINK PENGUJIAN OPEN-
LOOP**



LAMPIRAN D
P&ID Low Pressure Badak Gas Compressor C-7080



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Staroselsky N, Ladin L. **“Improved surge control for centrifugal compressors”**. Chemical Engineering, Compressors Controls Corp Bulletin B – 34 THEORY.
- [2] Instalation and Operation Instructions **“Anti Surge Control”**. PT Tranaco,Caterpillar Solar Turbines, Jakarta Selatan, Indonesia.
- [3] Ricki Prastya, Imam Abadi, Hendra Cordova. **“Perancangan Sistem Pengendalian AntiSurge Kompresor Dengan Menggunakan Metode *Artificial Neural Network* di Kaltim – 1 PT. Pupuk Kalimantan Timur – Bontang”**. Tugas Akhir Teknik Fisika ITS, (2010).
- [4] Imam Abadi, Aulia Siti Aisjah, Riftyanto N.S. **“Aplikasi Metode Neuro – Fuzzy Pada Sistem Pengendalian Antisurge Kompresor”**. Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No. 2, September 2006: 93 – 104.
- [5] Agus Handrian F, Syamsul Arifin, Roekmono. **“Perancangan Sistem Pengendalian Temperature pada Reboiler Metanol Recovery Menggunakan Fuzzy Gain Schedulling - PID”**. Tugas Akhir Teknik Fisika ITS, (2011).
- [6] Kvangardsnes Terje. **“Anti – surge control, control theoretic analysis of existing anti – surge control strategies”**. Norwegian University of Science and Technology, Departement of Engineering Cybernetics, June 2009.
- [7] Norman S. Nise. **“Control Systems Engineering”** 6th Edition
- [8] Heriyanto. **“Pengendalian Proses”**. Politeknik Negeri Bandung, Juni 2010.
- [9] Simoes M G. **“Introduction to Fuzzy Control”** Colorado School of Mines, Engineering Division 2010.

- [10] L. A Zadeh, “**Fuzzy Sets**,” Inform. Contr., vol 8, pp. 338-353, 1965.
- [11] Mathwork, Inc.”**Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB**”.
- [12] Pearson W N, “**An Expert System for the Performance Control of Rotating Machinery**”. University of Napier, December 2000
- [13] Amin A A, Hasan K M. “**Advanced Anti-Surge Control Algorithm for Turbine Driven Centrifugal Compressors**”
Department of Electrical Engineering, University of Engineering and Technology, Lahore June 2014.
- [14] Syed Fazal U, Kuang Ming L. “**Fuzzy Gain-Scheduling Proportional-Integral Control for Improving Engine Power and Speed Behavior in a Hybrid Electric Vehicle**”.
IEEE, January 2009.
- [15] Mirsky S, Wayne J, Tiscornia D, Mcwhirter J, Zagloul M. “**Development and Design of Antisurge Performance Control Systems For Centrifugal Compressors**”
Proceeding of the forty-second Turbomachinery Symposium
October 1-3, 2012 Texas.

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis Pandu Setioning Negoro yang dilahirkan di Kota Bekasi pada tanggal 11 november 1994 dari ayah bernama Nurul M. Berry dan ibu bernama Murniati. Penulis merupakan anak bungsu dari lima bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Nusantara raya Taman Cikunir Indah Blok C1 No 11 Bekasi Selatan. Pada tahun 2007 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN

Jakamulya IV Bekasi. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMPN 1 Bekasi. Pada tahun 2012 penulis berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 2 Bekasi. Dan pada tahun 2016 ini, penulis mampu menyelesaikan gelar Sarjana Teknik di Program Studi S1 Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN ANTISURGE KOMPRESOR DENGAN METODE FUZZY GAIN SCHEDULING-PI PADA LP BADAK GAS KOMPRESOR C-7080 DI VICO INDONESIA, KALIMANTAN TIMUR”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir maka dapat menghubungi penulis melalui email pandusetioning@gmail.com